

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276484

**IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF MICRO TWO-STAGE REFILLED FRICTION STIR SPOT WELDING WITH VARIATION DWELL TIME ON DISSIMILAR BRASS CuZn30-ALUMINUM AA1100 (p. 6–14)****Pathya Rupajati**Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4599-2082>**Ario Sunar Baskoro**Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-4196>**Latitia Dhayita Pramudito**Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8678-5683>**Laksita Aji Safitri**Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5051-1462>**Mohammad Azwar Amat**Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0273-8039>**Gandjar Kiswanto**Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7817-4228>

Welding and joining of brass CuZn30-aluminum AA1100 were obtained using micro two-stage refilled friction stir spot welding (mTS-RFSSW), which was carried out to eliminate the holes formed by the micro friction stir spot welding (mFSSW) process. The mTS-RFSSW process begins with the mFSSW welding process using tools with a pin inner diameter of 2.69 mm, pin outer diameter 1.811 mm and shoulder diameter of 4.954 mm, followed by a second stage process called mTS-RFSSW, which is a hole closing process using a tool with a pinless tool with shoulder diameter 4.954 mm. This study aimed to determine the effect of the second stage of dwell time on the mechanical properties produced in the mTS-RFSSW welding technique using brass CuZn30 and aluminum AA1100 with a thickness of 0.42 mm. In this study, the variable parameter is the second stage dwell time which varies from 3 s, 4 s, 5 s, and 6 s, respectively. An optical microscope that aims to observe the macrostructure shows that an upward hook is formed in each joining process. Based on the scanning electron micrograph, the resulting formation of different intermetallic compounds (IMC) with varying thicknesses occurs in every variation of dwell time. The high dwell time indicates discontinued IMC, which affects the tensile force. The IMC formed at the interface of brass CuZn30 and aluminum AA1100 is dominated by more than 30 % Cu. The highest hardness value is found in the stir zone because the formation of intermetallic compounds influences refined grains. The highest maximum shear force and cross tensile force was obtained 371.35 N and 54.88 N, respectively, in the dwell time of 3 s. The result of fracture properties after the lap shear test shows the presence of small dimples with microcracks that indicate brittle failure.

**Keywords:** Friction Stir Spot Welding, mTS-RFSSW, Brass CuZn30, AA1100, dwell time.

**References**

- Garg, A., Bhattacharya, A. (2017). Similar and dissimilar joining of AA6061-T6 and copper by single and multi-spot friction stirring. *Journal of Materials Processing Technology*, 250, 330–344. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.07.029>
- Irawan, Y. S., Choiron, M. A., Suprpto, W. (2021). Tensile strength and thermal cycle analysis of AA6061 friction weld joints with different diameters and various friction times. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 15–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227224>
- Darmadi, D. B., Abdillah, F. N., Raharjo, R. (2019). Controlling the pressure force to obtain a better quality of aluminum 6061 friction stir welded joint. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 6–10. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.159286>
- Sajed, M. (2016). Parametric study of two-stage refilled friction stir spot welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 24, 307–317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.09.011>
- Chen, K., Liu, X., Ni, J. (2017). Keyhole refilled friction stir spot welding of aluminum alloy to advanced high strength steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 452–462. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.06.039>
- Sunar Baskoro, A., Azwar Amat, M., Andre Widiyanto, M. (2019). Effect of Tools Geometry and Dwell Time on Mechanical Properties and Macrograph of Two-Stage Refilled Friction Stir Spot Micro Weld. *MATEC Web of Conferences*, 269, 02002. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926902002>
- Esmaili, A., Sbarufatti, C., Hamouda, A. M. S. (2019). Characteristics of Intermetallic Compounds in Dissimilar Friction Stir Welding: A Review. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 8 (4), 445–461. doi: <https://doi.org/10.1007/s13632-019-00557-w>
- Zhou, L., Zhang, R. X., Li, G. H., Zhou, W. L., Huang, Y. X., Song, X. G. (2018). Effect of pin profile on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded Al-Cu dissimilar metals. *Journal of Manufacturing Processes*, 36, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.09.017>
- Rupajati, P., Clarissa, K. G., Baskoro, A. S., Kiswanto, G., Winarto, W. (2021). Characteristics of Mechanical Properties and Microstructure of Micro Friction Stir Spot Welding of AA1100 and Brass. *International Journal of Technology*, 12 (6), 1302. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i6.5214>
- Shen, Z., Ding, Y., Chen, J., Amirkhiz, B. S., Wen, J. Z., Fu, L., Gerlich, A. P. (2019). Interfacial bonding mechanism in Al/coated steel dissimilar refill friction stir spot welds. *Journal of Materials Science & Technology*, 35 (6), 1027–1038. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.01.001>
- Li, P., Chen, S., Dong, H., Ji, H., Li, Y., Guo, X. et al. (2020). Interfacial microstructure and mechanical properties of dissimilar aluminum/steel joint fabricated via refilled friction stir spot welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 49, 385–396. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.09.047>
- Hsieh, M.-J., Lee, R.-T., Chiou, Y.-C. (2017). Friction stir spot fusion welding of low-carbon steel to aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 240, 118–125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.08.034>
- Garg, A., Bhattacharya, A. (2017). Strength and failure analysis of similar and dissimilar friction stir spot welds: Influence of different tools and pin geometries. *Materials & Design*, 127, 272–286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.04.084>
- Dong, Z., Song, Q., Ai, X., Lv, Z. (2019). Effect of joining time on intermetallic compound thickness and mechanical properties of refill friction stir spot welded dissimilar Al/Mg alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 42, 106–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.04.013>
- Shen, Z., Ding, Y., Guo, W., Hou, W., Liu, X., Chen, H. et al. (2021). Refill Friction Stir Spot Welding Al Alloy to Copper via Pure Metallurgical Joining Mechanism. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 34 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s10033-021-00593-0>
- Xue, P., Xiao, B. L., Ma, Z. Y. (2015). Effect of Interfacial Microstructure Evolution on Mechanical Properties and Fracture Behavior of Friction

- Stir-Welded Al-Cu Joints. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46 (7), 3091–3103. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2909-1>
17. Zhou, L., Li, G. H., Zhang, R. X., Zhou, W. L., He, W. X., Huang, Y. X., Song, X. G. (2019). Microstructure evolution and mechanical properties of friction stir spot welded dissimilar aluminum-copper joint. *Journal of Alloys and Compounds*, 775, 372–382. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.10.045>
  18. Mubiyai, M. P., Akinlabi, E. T. (2016). Evolving properties of friction stir spot welds between AA1060 and commercially pure copper C11000. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26 (7), 1852–1862. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(16\)64296-6](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(16)64296-6)
  19. Zareie Rajani, H. R., Esmaili, A., Mohammadi, M., Sharbati, M., Givi, M. K. B. (2012). The role of Metal-Matrix Composite development During Friction Stir Welding of Aluminum to Brass in Weld Characteristics. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (11), 2429–2437. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-012-0178-3>
  20. Bisadi, H., Tavakoli, A., Tour Sangsaraki, M., Tour Sangsaraki, K. (2013). The influences of rotational and welding speeds on microstructures and mechanical properties of friction stir welded Al5083 and commercially pure copper sheets lap joints. *Materials & Design*, 43, 80–88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.029>
  21. Shiraly, M., Shamanian, M., Toroghinejad, M. R., Ahmadi Jazani, M. (2013). Effect of Tool Rotation Rate on Microstructure and Mechanical Behavior of Friction Stir Spot-Welded Al/Cu Composite. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23 (2), 413–420. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0768-8>
  22. Li, G., Zhou, L., Zhou, W., Song, X., Huang, Y. (2019). Influence of dwell time on microstructure evolution and mechanical properties of dissimilar friction stir spot welded aluminum–copper metals. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (3), 2613–2624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.02.015>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282697

**IDENTIFYING THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CONTACT WIRE FROM SECONDARY COPPER (p. 15–23)**

Ruslan Petrov's'ky

GAL-KAT, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0705-2506>

Anatolii Verkhovliuk

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7703-4557>

This paper reports the analysis of studies on the use of secondary copper for the production of articles based on it, namely the contact wire for electric transport.

The effect of the drawing step on the macro- and microstructure and physical and mechanical properties of the copper wire was studied. The optimal draw pitch for continuous copper casting is 8.2 mm. At a temperature of the melt (casting) of 1200 °C and a draw step of 8.2 mm, the average crystallization rate is ~300 °C/s. This provides sufficient time for crystallization, and with such parameters, the heat transfer from the metal receiver does not have a noticeable effect on the structure. At the same time, it was established that Mg is a modifier for liquid Cu while all other elements do not have such an effect and form solid solutions with copper.

It is shown that the increase in the concentration of silver from 0.082 at% to 0.092 at% led to an increase in specific electrical resistance by 0.582 %. As for other elements, namely, iron, the change in its amount from 0.002 at% to 0.005 at% increased the specific resistance of copper by 1.733 %. The change in nickel concentration from 0.024 at% to 0.036 at% and tin from 0.0010 at% to 0.0035 at% led to its growth by 2.927 % and 1.269 %, respectively.

**Keywords:** copper contact wire, electrical resistance of continuously cast copper blanks, copper modification.

**References**

1. Sulitsin, A. V., Mysik, R. K., Brusnitsyn, S. V., Loginov, Yu. N. (2016). *Nepreryvnoe lit'e medi*. Ekaterinburg: Izd-vo UMTS ULI, 374.
2. Belyi, D. I. (2011). *Sovremennye tekhnologii proizvodstva mednoy katanki dlya kabel'noy promyshlennosti*. Kabeli i provoda, 5, 29–33.
3. Gorokhov, Yu. V., Belyaev, S. V., Uskov, I. V., Gubanov, I. Yu. (2014). Razvitie sovmeschennogo nepreryvnogo protsessa lit'ya i pressovaniya. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologii*, 7 (4), 436–442.
4. Raykov, Yu. N. (2003). Effektivnost' sovremennykh protsessov proizvodstva mednoy provolochnoy zagotovki. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 3, 37–41.
5. Efimov, V. A. (1991). *Spetsial'nye sposoby lit'ya*. Moscow: Mashinostroenie, 436.
6. Vasilevsky, P. A., Zheleznyak, L. M., Ivanov, P. I., Emelyanova, S. M. (2012). Improvement of copper semi-finished billet manufacture for electrical engineering purposes. *Metallurgist*, 56 (3-4), 293–297. doi: <https://doi.org/10.1007/s11015-012-9573-0>
7. Tavalzhanskii, S. A., Pashkov, I. N. (2021). Features of the Continuous Casting of Small-Section Billets from Copper-Based Alloys. *Metallurgist*, 64 (9-10), 1068–1076. doi: <https://doi.org/10.1007/s11015-021-01088-y>
8. Mysik, R. K., Sulitsin, A. V., Morgunov, V. V. (2021). To the Question of the Manufacturing Ability a Contact Wire by Continuous Casting Rod. *Solid State Phenomena*, 316, 426–432. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.316.426>
9. Ma, A., Zhu, C., Chen, J., Jiang, J., Song, D., Ni, S., He, Q. (2014). Grain Refinement and High-Performance of Equal-Channel Angular Pressed Cu-Mg Alloy for Electrical Contact Wire. *Metals*, 4 (4), 586–596. doi: <https://doi.org/10.3390/met4040586>
10. Sulitsin, A. V., Mysik, R. K., Morgunov, V. V. (2021). Technology of the Contact Wire Manufacture for High-Speed Railways. *Defect and Diffusion Forum*, 410, 173–178. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ddf.410.173>
11. Marukovich, E. I., Demchenko, E. B. (2012). *Yavleniya pri formirovani nepreryvnoy otlivki*. Minsk: BNTU, 208.
12. Zemekov, I. V., Krutilin, A. N. (2015). *Vertikal'noe nepreryvnoe lit'e zagotovok*. Minsk: BNTU, 207.
13. Smirnov, S. L. (2010). *Formirovanie struktury i svoystv nepreryvnolitoi zagotovki iz medi v usloviyakh intensivnogo vneshnego okhlazhdeniya*. Ekaterinburg, 23.
14. Verkhovliuk, A. M., Petrovskiy, R. V., Babych, V. M. (2022). Vplyv Mg, Ag, Sn, Fe, Ni na strukturu ta vlastyivosti midnykh zahotovok. *Lytvo. Metalurhiya. 2022: M-ly XVIII Mizhn. nuk.-prakt. kon-tsiyi*. Kharkiv: NTU «KhPI», 36–39. Available at: [https://nmetau.edu.ua/file/materiali\\_konferentsiyi\\_litvo\\_metalurhiya\\_-\\_2022.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/materiali_konferentsiyi_litvo_metalurhiya_-_2022.pdf)
15. Chervonyj, I. F., Petrovskij, R. V., Verhovlyuk, A. M. (2019). Production of continuously cast products made of alloys based on secondary copper. *Scientific Look into the Future*, 1 (13), 22–38. doi: <https://doi.org/10.30888/2415-7538.2019-13-01-009>
16. Verkhovliuk, A. M., Petrovskiy, R. V., Chervonyi, I. F., Lachnenko, V. L. (2020). Influence of drawing speed on contact wire properties. *Modern Scientific Researches*, 14, 19–26.
17. Verkhovliuk, A. M., Petrovskiy, R. V., Naumenko, M. I., Babych, V. M. (2021). Vplyv shahu vytyazhky na strukturu lytykh zahotovok na osnovi midi. *M-ly XVII Mizhn. nuk.-prakt. kon-tsiyi*. Zaporizhzhia, 35–38. Available at: [https://nmetau.edu.ua/file/lite\\_metalurhiya\\_2021.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/lite_metalurhiya_2021.pdf)

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283077

**DETERMINING THE SEQUENCE OF ELIMINATION OF IMPURITY IONS FROM THE SURFACE OF HISTORICAL COLD IRON WEAPONS (p. 24–29)**

Yuliia Vovk

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0459-0189>

**Volodymyr Indutnyi**

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6676-7472>

**Nina Merezhko**

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3077-9636>

**Kateryna Pirkovich**

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1461-0235>

**Valeriia Dyshlova**

Laboratory for Expertise and Researches of the State Customs  
 Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-0812-070X>

Confirming the authenticity of historical cold weapons and determining their age is an urgent problem in practical examination. One of the promising directions for its solution is the experimental study of the process of elimination of impurity ions from iron, which occurs throughout the long history of life.

This paper describes a model that explains the sequence of elimination of impurity ions from near-surface parts of the metal. Deformation indicators of the crystal lattice of iron were calculated and sorted in order of decreasing ionic radius of the impurity chemical element. A diagram of the deformation effect of impurity chemical elements on the volume-centered crystal lattice of iron was constructed. Ions that are larger in diameter are more actively eliminated from the surface layers of the metal, while ions that are smaller are removed to a lesser extent.

With the help of the authors' methodology, a study of the chemical composition of the surface of collection samples of iron cold weapons of the 20<sup>th</sup>, 19<sup>th</sup>, and 18<sup>th</sup> centuries was carried out. It has been established that a metal alloy made in the recent past – up to 100 years – is characterized by a very active release of impurity chemical elements on the surface when it is heated. Iron weapons made up to 200 years ago have a significantly lower ability to release chemical impurities because most of the latter have already been eliminated. At the same time, samples of cold weapons of this age already have microdefects in the form of cleavage cracks and caverns, so their surface contains a significant number of compounds of eliminated chemical elements that have accumulated during the long history of their use. Older cold weapons, made 300 years ago or earlier, have impurity ions that are smaller than ferric ions, particularly silicon.

The results of the research are important for the identification and authentication of historical iron cold weapons.

**Keywords:** historical cold weapons, chemical composition, impurity ions, X-ray fluorescence analysis, identification, examination, authenticity.

**References**

- 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>
- Palmer, P. Introduction to Energy-Dispersive X-ray Fluorescence (XRF) – an Analytical Chemistry Perspective. Available at: <https://www.asdlib.org/onlineArticles/ecourseware/Palmer/ASDL%20Intro%20to%20XRF.pdf>
- 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>
- 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](https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full80c_761668.pdf)
- Mincu, V., Negru, M., Constantin, N. (2012). Increase the Ingots Quality Cast in Vacuum. *Solid State Phenomena*, 188, 339–345. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.188.339>
- 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>

- 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)
- Scrivano, S., Gómez Tubío, B., Ortega-Feliu, I., Ager, F. J., Paul, A., Respaldiza, 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>
- Merezhko, N., Vovk, Y., Indutnyi, V., Pirkovich, K., Davydiuk, V., Andreiev, O. (2021). Devising criteria for the authenticity of historical cold weapons based on X-ray fluorescence analysis of their surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (114)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247624>
- Indutnyi, V., Merezhko, N., Pirkovich, K. (2019). Studying the authenticity of the golden element from a Mongolian warrior's armor by physical-chemical methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (97)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157156>
- Vovk, Y., Merezhko, N., Indutnyi, V., Pirkovich, K., Lytvynenko, Y. (2022). Determining dangerous chemicals on the surface of metallic historical artefacts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (120)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268175>
- 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>
- Hlosary terminiv z khimiyi (2008). Donetsk, 738. Available at: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Opeida\\_Shvaika\\_Glossary\\_of\\_chemistry\\_terms.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Opeida_Shvaika_Glossary_of_chemistry_terms.pdf)
- Periodychnist zminy radiusiv atomiv khimichnykh elementiv. Available at: [https://www.miyklas.com.ua/p/himija/8-klas/periodichnii-zakon-i-budova-atomiv-39913/periodichna-tablitsia-i-zakonomirnosti-zminivlastivostei-khimichnikh-ele\\_39922/re-5bfdbee7-e780-454c-ad37-358b9eec1426](https://www.miyklas.com.ua/p/himija/8-klas/periodichnii-zakon-i-budova-atomiv-39913/periodichna-tablitsia-i-zakonomirnosti-zminivlastivostei-khimichnikh-ele_39922/re-5bfdbee7-e780-454c-ad37-358b9eec1426)
- Atomni ta yonni radiusy. Shchilna struktura atomnykh krystaliv. Available at: [https://chemeducation.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/14/2020/02/Лекція\\_3\\_радіус.pdf](https://chemeducation.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/14/2020/02/Лекція_3_радіус.pdf)

**DOI:** [10.15587/1729-4061.2023.279009](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279009)

**A RESEARCH OF THE EFFECT OF AN UNDERWATER ELECTRIC EXPLOSION ON THE SELECTIVITY OF DESTRUCTION OF QUARTZ RAW MATERIALS (p. 30–37)**

**Gulden Bulkairova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7390-2214>

**Bekbolat Nussupbekov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2907-3900>

**Madina Bolatbekova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0169-3430>

**Ayanbergen Khassenov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5220-9469>

**Ulan Nussupbekov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6873-2089>

**Dana Karabekova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8776-4414>

The work is devoted to the study of the effect of an electric explosion on the selectivity of the destruction of quartz raw materials. The object of the study is quartz ore of the Nadyrbay deposit of the Republic of Kazakhstan. An electrohydroimpulse plant for crushing and grinding quartz raw materials has been developed and assembled. Using the electrohydroimpulse method, the granulometric composition of quartz can be adjusted. This makes it possible to adjust the magnitude of the voltage in the discharge channel and time. In this technology, quartz ore processing was carried out with an increase in the discharge voltage of the storage from 14 kV to 25 kV, the length of the interelectrode distance from 8 to 12, the capacitance of the capacitor 0.5  $\mu$ F, 0.75  $\mu$ F and the processing time of 5 min. Using the electrohydroimpulse method, quartz ore particles with an initial fraction of 5 mm, 10 mm and 1 mm were crushed to 0.8. The results of the grinding of quartz raw materials with the influence of an underwater electric explosion in a liquid medium allowed us to determine the degree of grinding of the material.

The obtained results can be used in the course of studying the characteristics of crushing and grinding of ores. In the food industry, quartz sand within 0.25–0.5 millimeters can be used as a filler to create filters for water purification, as well as products from oil, industrial effluents, etc. Particles ranging in size from 0.5 to 1 millimeter can be used for rough processing of metal, stone and glass.

The structural and quantitative analysis of powdered quartzite samples was made using a scanning electron microscope and the stoichiometry of the elements was calculated.

**Keywords:** quartz ore, crushing, electric explosion, discharge channel, capacitor, stoichiometry, energy spectrum.

## References

- Yutkin, L. A. (1986). *Elektropogidpavlicheckiy effekt i ego ppimnenie v ppomyshlennosti*. Leningrad: Mashinostpoenie, 253.
- Martynov, N. V., Dobromirov, V. N., Barsukov, V. O., Avramov, D. V. (2021). Electrohydraulic Technology for Breaking Solid Objects. *Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost)*, 2, 132–136. doi: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-2-132-136>
- Kulinich, V. V., Sagunov, V. G., Uzhkenov, B. S. et al. (2000). Mectopozhdeniya gopnopudnogo syr'ya Kazakhctana. *Almaty*, 372.
- Bur'yan, Yu. I. (2007). Kvarcsevoe syr'e – vazhneyshiy vid mineral'nykh resursov dlya vysokotekhnologichnykh otrasley promyshlennosti. *Razvedka i okhrana neдр*, 10.
- Kuz'mina, N. I. (2007). Kriterii opredeleniya predelov obogatimosti razlichnykh prirodnykh tipov kvartsevoogo syr'ya. *Razvedka i okhrana neдр*, 10.
- Gupta, V. K. (2023). Hold-up weight in continuous wet ball milling: Relationship with the size distribution of the particulate contents of the mill. *Powder Technology*, 415, 118137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.118137>
- Yang, J., Zhu, P., Li, H., Li, Z., Huo, X., Ma, S. (2022). Research on the Relationship between Multi-Component Complex Ore and Its Component Minerals' Grinding Characteristics under Abrasion Force. *Minerals*, 13 (1), 6. doi: <https://doi.org/10.3390/min13010006>
- Gao, P., Qin, Y., Zhang, H., Chen, H. (2022). Strengthening the magnetic separation characteristic of magnetite quartzite via high-voltage pulse discharge. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 62 (1), 85–98. doi: <https://doi.org/10.1080/00084433.2022.2071090>
- Gao, P., Yuan, S., Han, Y., Li, Y., Chen, H. (2017). Experimental Study on the Effect of Pretreatment with High-Voltage Electrical Pulses on Mineral Liberation and Separation of Magnetite Ore. *Minerals*, 7 (9), 153. doi: <https://doi.org/10.3390/min7090153>
- Chanturiya, V. A., Bunin, I. Zh. (2022). Advances in Pulsed Power Mineral Processing Technologies. *Minerals*, 12 (9), 1177. doi: <https://doi.org/10.3390/min12091177>
- Rostovtsev, V. I., Bryazgin, A. A., Korobeinikov, M. V. (2020). Improvement of milling selectivity and utilization completeness through radiation modification of mineral properties. *Journal of Mining Science*, 56 (6), 1000–1009. doi: <https://doi.org/10.1134/s1062739120060125>
- Nesterova, T. N., Vostrikov, S. V. (2014). *Stekhiometriya, material'nye i energeticheskie raschety v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. Samara: SamGTU, 403.
- Kurytnik, I. P., Nussupbekov, B. R., Khassenov, A. K., Karabekova, D. Z., Tanasheva, N. K. (2020). About an electric pulse method of grinding gold ore. *Przeglad Elektrotechniczny*, 1 (10), 150–152. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2020.10.27>
- Bulkairova, G. A., Khassenov A. K., Karabekova D. Zh., Stoev M., Nurgaliyeva Zh. G., Kipshakov M. S. (2019). Effects of electrohydroimpulse discharges on the crushing of the natural mineral quartz. *Eurasian Physical Technical Journal*, 16 (2), 89–93. doi: <https://doi.org/10.31489/2019no2/89-93>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283441

## STRENGTHENING OF FRICTION SURFACES BY USING GEOMODIFIERS BASED ON SERPENTINES FROM THE DASHUKIVKA DEPOSIT (p. 38–47)

Svitlana Bodu

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolayiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-0955>

Vyacheslav Andrieiev

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1143-8043>

Anton Novoshytskyi

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolayiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3232-4718>

The object of research is the process of improving the tribological characteristics of friction joints, in particular anti-wear and anti-burr properties.

There is a practice of using serpentines, so-called “friction geomodifiers” (FGM), as special repair and restoration additives. Their use leads to a decrease in the coefficient of friction and temperatures in the contact zone; an increase in the mass of parts is observed, which indicates the restoration of worn surfaces. The mechanism of formation of new structures is still unclear. There are hypotheses that severe friction conditions initiate micrometallurgical processes at the atomic-crystalline level, as a result of which modified layers with unique tribological characteristics are formed on the surfaces.

A comparative analysis of the main indicators of serpentines of the Dashukivka deposit in terms of chemical composition and structure showed their correspondence to widely known analogs but they were never used in such a capacity.

According to the results of the tests, the additives have shown their effectiveness as geomodifiers of friction. Addition of 4 % serpentine to the lubricating composition based on I-20 A oil reduced the wear rate by 2–3 times, the friction moment by 15 %, compared to I-20 A without additives.

An increase in surface microhardness was observed, from 6 GPa for the basic variant to 10 GPa, for the variant with FGM additives.

It has been established that the use is most effective for heavily loaded friction pairs (ship fittings, hatch closures, etc.) as it increases the clamping load (from 600 to 1400 N for a pair of steel 45/ShKh15); with increasing load, the coefficient of friction and the rate of wear decrease.

The results confirm the need to expand research into this area to solve the complex problem of increasing the reliability of tribojunctions.

**Keywords:** repair and restoration technologies, friction geomodifiers, serpentine, heavily loaded friction pairs.

## References

- Soloviov, S., Bodu, S., Trofymova, O. (2007). Porivnialnyi analiz tekhniko-ekonomichnykh i ekolohichnykh pokaznykiv khimiko-termichnoi obrobky. *Tekhnohenna bezpeka. Naukovi pratsi*, 61 (48), 74–78. Available at: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/naukpraci/technogen/2007/61-48-12.pdf>

2. Solov'ev, S. (2004). Upravlenie nesuchey sposobnost'yu tribosistem metodami makroprofilirovaniya rabochikh poverkhnostey. *Problemy trybolohiyi*, 2, 10–14.
3. Solov'ev, S., Bodu, S. (2010). K naznacheniyu posadok i zazorov tsil-indroporshnevykh sopryazheniy germetichnykh kompressorov. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Vseukrainskiy nauchno-tehnicheskii zhurnal*, 2, 127–129. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/254>
4. Chernets, M., Klimenko, L., Pashechko, M., Nevchas, A. (2010). *Tribomekhanika. Tribotekhnika. Tribotekhnologii. Vol. 3. Nikolaev: Izd-vo CHGU im. Petra Mogily.*
5. Soloviov, S. M., Bodu, S. Zh. (2012). Pidvyshchennia nesuchoi zdatnosti vazhkonavantazhenykh par tertia. *Naukovi pratsi [Chornomorskoho derzhavnoho universytetu imeni Petra Mohyly]. Ser.: Tekhnohenna bezpeka*, 203 (191), 27–31. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdub\\_2012\\_203\\_191\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdub_2012_203_191_7)
6. Chen, W., Gao, Y., Zhang, H. (2009). XPS and SEM Analyses of Self-Repairing Film Formed by Mineral Particles as Lubricant Additives on the Metal Friction Pairs. *Advanced Tribology*, 660–664. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03653-8\\_215](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03653-8_215)
7. Dolgoplov, K. N., Lyubimov, D. N., Ponomarenko, A. G., Chigarenko, G. G., Boiko, M. V. (2009). The structure of lubricating layers appearing during friction in the presence of additives of mineral friction modifiers. *Journal of Friction and Wear*, 30 (5), 377–380. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068366609050134>
8. Pogodaev, L. I., Buyanovskii, I. A., Kryukov, E. Yu., Kuz'min, V. N., Usachev, V. V. (2009). The mechanism of interaction between natural laminar hydrosilicates and friction surfaces. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 38 (5), 476–484. doi: <https://doi.org/10.3103/s1052618809050124>
9. Wang, P., Lv, J., Wang, L. H., Ma, Q., Zhu, X. H. (2011). Research on Tribological Properties of Serpentine Particles as Lubricating Oil Additives. *Advanced Materials Research*, 284–286, 1001–1005. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.284-286.1001>
10. Dolgoplov, K. N., Lyubimov, D. N., Kozakov, A. T., Nikol'skii, A. V., Glazunova, E. A. (2012). Tribochemical aspects of interactions between high-dispersed serpentine particles and metal friction surface. *Journal of Friction and Wear*, 33 (2), 108–114. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068366612020031>
11. Zhang, J., Tian, B., Wang, C. (2013). Long-term surface restoration effect introduced by advanced silicate based lubricant additive. *Tribology International*, 57, 31–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2012.07.014>
12. Dunaev, A. V., Zuev, V., Vasilkov, D. V., Lavrov, Y., Pavlov, O. G., Pustovoy, I. E., Sokol, S. A. The hypotheses of mechanisms of action repair serpentine tribopreparatov. *Trudy GOSNITI*, 112 (2), 134–142. Available at: <http://www.oilchoice.ru/download/file.php?id=3797>
13. Telukh, D., Kuz'min, V., Usachev, V. (2009). Vvedenie v problemu ispol'zovaniya sloistykh gidrosilikatov v tribosopryazheniyakh. *Internet-zhurnal «Trenie, iznos, smazka»*, 3. Available at: <http://www.oilchoice.ru/download/file.php?id=2209>
14. Yue, W., Wang, C., Liu, Y., Huang, H., Wen, Q., Liu, J. (2010). Study of the Regenerated Layer on the Worn Surface of a Cylinder Liner Lubricated by a Novel Silicate Additive in Lubricating Oil. *Tribology Transactions*, 53 (2), 288–295. doi: <https://doi.org/10.1080/10402000903420787>
15. Qi, X., Jia, Z., Chen, H., Yang, Y., Wu, Z. (2013). Self-Repairing Characteristics of Serpentine Mineral Powder as an Additive on Steel–Chromium Plating Pair under High Temperature. *Tribology Transactions*, 56 (3), 516–520. doi: <https://doi.org/10.1080/10402004.2013.765060>
16. Qi, X., Jia, Z., Yang, Y., Fan, B. (2011). Characterization and auto-restoration mechanism of nanoscale serpentine powder as lubricating oil additive under high temperature. *Tribology International*, 44 (7–8), 805–810. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.02.001>
17. Yuansheng, J., Shenghua, L., Zhengye, Z., He, Y., Feng, W. (2004). In situ mechanochemical reconditioning of worn ferrous surfaces. *Tribology International*, 37 (7), 561–567. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2003.12.005>
18. Nan, F., Xu, Y., Xu, B., Gao, F., Wu, Y., Li, Z. (2015). Tribological behaviors and wear mechanisms of ultrafine magnesium aluminum silicate powders as lubricant additive. *Tribology International*, 81, 199–208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2014.09.006>
19. Zhang, B., Xu, B., Xu, Y., Zhang, B. (2011). Tribological characteristics and self-repairing effect of hydroxy-magnesium silicate on various surface roughness friction pairs. *Journal of Central South University*, 18 (5), 1326–1333. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0841-0>
20. Yu, H., Xu, Y., Shi, P., Wang, H., Wei, M., Zhao, K., Xu, B. (2013). Microstructure, mechanical properties and tribological behavior of tribofilm generated from natural serpentine mineral powders as lubricant additive. *Wear*, 297 (1–2), 802–810. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.10.013>
21. Yu, H. L., Xu, Y., Shi, P. J., Wang, H. M., Zhang, W., Xu, B. S. (2011). Effect of thermal activation on the tribological behaviours of serpentine ultrafine powders as an additive in liquid paraffin. *Tribology International*, 44 (12), 1736–1741. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.06.022>
22. Kadoshnikov, V. M., Shekhunova, S. B., Zadvernyuk, H. P., Manichev, V. I. (2013). Authigenic minerals in the bentonite clay of Cherkassy deposit. *Mineralogical Journal*, 35 (3), 54–60. Available at: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Mineral\\_2013\\_35\\_3\\_8.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Mineral_2013_35_3_8.pdf)
23. De Barros Bouchet, M. I., Kano, M. (2007). Superlubricity of Diamond/Glycerol Technology Applied to Automotive Gasoline Engines. *Superlubricity*, 471–492. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50056-1>
24. Erdemir, A., Eryilmaz, O. L. (2007). Superlubricity in Diamondlike Carbon Films. *Superlubricity*, 253–271. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50047-0>
25. Fontaine, J., Donnet, C. (2007). Superlow Friction of a-C:H Films: Tribochemical and Rheological Effects. *Superlubricity*, 273–294. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50048-2>
26. Yuansheng, J., Shenghua, L. (2007). Superlubricity of In Situ Generated Protective Layer on Worn Metal Surfaces in Presence of Mg<sub>6</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>. *Superlubricity*, 445–469. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50055-x>
27. Freyman, C., Zhao, B., Chung, Y.-W. (2007). Suppression of Moisture Sensitivity of Friction in Carbon-Based Coatings. *Superlubricity*, 295–310. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50049-4>
28. Kano, M. (2015). Overview of DLC-Coated Engine Components. *Coating Technology for Vehicle Applications*, 37–62. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14771-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14771-0_3)
29. Donnet, C., Erdemir, A. (Eds.) (2008). *Tribology of Diamond-Like Carbon Films*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-49891-1>
30. Nagashima, S., Moon, M.-W. (2015). Diamond-Like Carbon Coatings with Special Wettability for Automotive Applications. *Coating Technology for Vehicle Applications*, 191–202. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14771-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14771-0_11)
31. Street, K. W., Miyoshi, K., Vander Wal, R. L. (2007). Application of Carbon Based Nano-Materials to Aeronautics and Space Lubrication. *Superlubricity*, 311–340. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50050-0>
32. Nakayama, K. (1995). Triboemission And Wear Of Hydrogenated Carbon Films. *MRS Proceedings*, 409. doi: <https://doi.org/10.1557/proc-409-391>
33. Balabanov, V. I., Boykov, V. Yu., Balabanova, T. V. (2016). Analyzing repair and reconstructive composites for automotive and tractor machinery. *Agroinzheneriya*, 3, 45–52. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-remontno-vosstanovitelnyh-sostavov-dlya-avtotraktornoy-tehniki>
34. Olishvska, V., Bas, K., Litvin, P. (2010). Treatment of machines friction connections by nanotribosubstances at dismantling service. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, 51, 156–161. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-truschih-sya-soedineniy-mashin-nanotribopreparatami-pri-bezrazbornom-servise>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276484

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МІКРО-ДВОЕТАПНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ З ВАРІАЦІЙНИМ ЧАСОМ ВИТРИМУВАННЯ НА РІЗНОМІРНІ ЛАТУНЬ CuZn30-АЛЮМІНІЙ AA1100 (с. 6–14)

Pathya Rupajati, Ario Sunar Baskoro, Latitia Dhayita Pramudito, Laksita Aji Safitri, Mohammad Azwar Amat, Gandjar Kiswanto

Зварювання та з'єднання латуні CuZn30-алюміній AA1100 було отримано за допомогою мікро-двоетапного точкового зварювання тертям з перемішуванням (mTS-RFSSW), яке було виконано для усунення отворів, утворених процесом точкового зварювання з мікротертям (mFSSW). Процес mTS-RFSSW починається з процесу зварювання mFSSW з використанням інструментів із внутрішнім діаметром штифта 2,69 мм, зовнішнім діаметром штифта 1,811 мм і діаметром плеча 4,954 мм, після чого йде другий етап процесу, який називається mTS-RFSSW, який є закриттям отвору за допомогою інструменту з безштифтовим інструментом з діаметром плеча 4,954 мм. Це дослідження мало на меті визначити вплив другої стадії витримки на механічні властивості, отримані за допомогою технології зварювання mTS-RFSSW з використанням латуні CuZn30 та алюмінію AA1100 товщиною 0,42 мм. У цьому дослідженні змінним параметром є час витримки другого етапу, який змінюється від 3 с, 4 с, 5 с і 6 с відповідно. Оптичний мікроскоп, який має на меті спостерігати за макроструктурою, показує, що в кожному процесі з'єднання утворюється висхідний гачок. Згідно зі скануючою електронною мікрофотографією, результуюче утворення різних інтерметалічних сполук (ІМС) із різною товщиною відбувається в кожному варіанті часу перебування. Великий час витримки вказує на припинення ІМС, що впливає на силу розтягування. В ІМС, що утворюється на межі латуні CuZn30 та алюмінію AA1100, переважає понад 30 % Cu. Найвище значення твердості знаходиться в зоні перемішування, тому що утворення інтерметалічних сполук впливає на подрібнене зерно. Було отримано найвищу максимальну силу зсуву та поперечну силу розтягу 371,35 Н та 54,88 Н відповідно за час витримки 3 с. Результати властивостей руйнування після випробування на зсув внапуск показують наявність невеликих ямок з мікротріщинами, які вказують на крихке руйнування.

**Ключові слова:** точкове зварювання тертям, mTS-RFSSW, латунь CuZn30, AA1100, час витримки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282697

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ З ВТОРИННОЇ МІДІ (с. 15–23)

Р. В. Петровський, А. М. Верховлюк

Виконано аналіз досліджень щодо використання вторинної міді для виробництва виробів на її основі, а саме контактного проводу для електротранспорту.

Досліджено вплив кроку витяжки на макро- і мікроструктуру та фізико-механічні властивості мідного проводу. Оптимальним кроком витяжки при безперервному литті міді є 8,2 мм. При температурі розплаву (залівки) 1200 °C і кроці витяжки 8,2 мм середня швидкість кристалізації складає ~300 °C/с. Це забезпечує достатній час для кристалізації і при таких параметрах передача тепла від металоприймача не завдає відчутного впливу на структуру. При цьому встановлено, що Mg являється модифікатором для рідкої Cu, а всі інші елементи не проявляють такої дії і утворюють з мідю тверді розчини.

Показано, що зростання концентрації срібла від 0,082 % ат. част. до 0,092 % ат. част. привело до підвищення питомого електроопору на 0,582 %. Щодо інших елементів, а саме: заліза, то зміна його кількості від 0,002 % ат. част. до 0,005 % ат. част. підвищила питомий опір міді на 1,733 %. Зміна концентрації нікелю від 0,024 % ат. част. до 0,036 % ат. част. та олова від 0,0010 % ат. част. до 0,0035 % ат. част. привела до його зростання на 2,927 % і 1,269 %, відповідно.

**Ключові слова:** мідний контактний провід, електричний опір безперервно литих мідних заготовок, модифікування міді.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283077

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ЕЛІМІНАЦІЇ ДОМІШКОВИХ ІОНІВ З ПОВЕРХНІ ІСТОРИЧНОЇ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ ІЗ ЗАЛІЗА (с. 24–29)

Ю. Р. Вовк, В. В. Индутний, Н. В. Мережко, К. А. Піркович, В. В. Дишлова

Підтвердження автентичності історичної холодної зброї та визначення її віку є актуальною проблемою в практичній експертизі. Одним з перспективних напрямів її вирішення є експериментальне дослідження процесу елімінації домішкових іонів із заліза, який відбувається впродовж тривалої історії побутування.

Описано модель, яка пояснює послідовність елімінації домішкових іонів з приповерхневих частин металу. Розраховано показники деформації кристалічної ґратки заліза і відсортовано їх в порядку зменшення іонного радіусу домішкового хімічного елементу. Побудовано діаграму деформаційного впливу домішкових хімічних елементів на об'ємноцентровану кристалічну ґратку заліза. Іони, які є більшими за діаметром, активніше елімінуються з поверхневих шарів металу, а іони, які є меншими, видаляються у меншій мірі.

За допомогою авторської методики було проведено дослідження хімічного складу поверхні колекційних взірців холодної зброї із заліза XX, XIX та XVIII століття. Встановлено, що металевий сплав, виготовлений в недалекому минулому – до 100 років – характеризується дуже активним виділенням домішкових хімічних елементів на поверхню при його нагріванні. Для залізної зброї, виготовленої до 200 років тому, притаманні значно менша здатність до виділення домішкових хімічних елементів, адже більша частина

останніх вже була елімінованою. Водночас, для взірців холодної зброї цього віку вже притаманні мікродфекти у вигляді тріщин кліважу та каверн, тому їх поверхня містить значну кількість сполук елімінованих хімічних елементів, які накопичилися впродовж тривалої історії їх побутування. Для більш старої холодної зброї, виготовленої 300 років тому й більше, притаманні домішкові іони, розміри яких менші за розміри іонів тривалентного заліза, зокрема силіцій.

Результати дослідження є важливими для проведення ідентифікації та встановлення автентичності історичної холодної зброї із заліза.

**Ключові слова:** історична холодна зброя, хімічний склад, домішкові іони, рентгенофлуоресцентний аналіз, ідентифікація, експертиза, автентичність.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.279009**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДВОДНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ВИБУХУ НА ВИБІРКОВІСТЬ РУЙНУВАННЯ КВАРЦОВОЇ СИРОВИНИ (с. 30–37)**

**Gulden Bulkairova, Bekbolat Nussupbekov, Madina Bolatbekova, Ayanbergen Khassenov, Ulan Nussupbekov, Dana Karabekova**

Робота присвячена вивченню впливу електричного вибуху на вибірковість руйнування кварцової сировини. Об'єктом дослідження є кварцова руда родовища Надирбай Республіки Казахстан. Для дроблення та подрібнення кварцової сировини розроблена та зібрана електрогідроімпульсна установка. За допомогою електрогідроімпульсного методу можна регулювати гранулометричний склад кварцу. Це дозволяє регулювати величину напруги в розрядному каналі та час. За даною технологією проводилася переробка кварцової руди зі збільшенням напруги розряду накопичувача з 14 кВ до 25 кВ, довжини міжелектродної відстані з 8 до 12, ємністю конденсатора 0,5 мкФ, 0,75 мкФ і часом обробки 5 хв. З використанням електрогідроімпульсного методу частинки кварцової руди з початковою фракцією 5 мм, 10 мм та 1 мм подрібнювали до 0,8. Результати подрібнення кварцової сировини з впливом підводного електричного вибуху в рідкому середовищі дозволили визначити ступінь подрібнення матеріалу.

Отримані результати можуть бути використані при вивченні особливостей дроблення і подрібнення руд. У харчовій промисловості кварцовий пісок розміром 0,25–0,5 міліметра може використовуватися в якості наповнювача для створення фільтрів очищення води, а також продуктів з нафти, промислових стоків тощо. Частинки розміром від 0,5 до 1 міліметра можуть бути використані для грубої обробки металу, каменю та скла.

За допомогою скануючого електронного мікроскопа було проведено структурно-кількісний аналіз зразків порошкоподібного кварциту та розраховано стехіометрію елементів.

**Ключові слова:** кварцова руда, дроблення, електричний вибух, розрядний канал, конденсатор, стехіометрія, енергетичний спектр.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283441**

### **ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОМОДИФІКАТОРІВ НА ОСНОВІ СЕРПЕНТИНІВ ДАШУКІВСЬКОГО РОДОВИЩА (с. 38–47)**

**С. Ж. Боду, В. І. Андрєєв, А. В. Новошицький**

Об'єктом дослідження є процес підвищення трибологічних характеристик фрикційних з'єднань, зокрема протизношувальних та протизадирних властивостей.

Існує практика використання серпентинів, так званих «геомодифікаторів тертя» (ГМТ), в якості спеціальних ремонтно-відновлювальних домішок. Їх використання призводить до зниження коефіцієнту тертя і температур в зоні контакту, спостерігається збільшення маси деталей, що свідчить про відновлення зношуваних поверхонь. Механізм формування нових структур досі нез'ясований. Є гіпотези, що важкі умови тертя ініціюють мікрометалургічні процеси на атомарно-кристалічному рівні, в результаті на поверхнях утворюються модифіковані шари з унікальними трибологічними характеристиками.

Порівняльний аналіз основних показників серпентинів Дашуківського родовища за хімічним складом і структурою показав їх відповідність широко відомим аналогам, але вони ніколи не застосовувались в такій якості.

За результатами випробувань добавки показали свою ефективність в якості геомодифікаторів тертя. Додавання 4 % серпентину до змащувальної композиції на основі масла І-20 А знизило швидкість зношування в 2–3 рази, момент тертя на 15 % в порівнянні з І-20 А без добавок.

Спостерігалось підвищення поверхневої мікротвердості з 6 ГПа для базового варіанту до 10 ГПа для варіанту з добавками ГМТ.

Встановлено, що використання найбільш ефективно для важконавантажених пар тертя (суднові апарелі, люкові закриття та ін.), так як підвищує навантаження схоплювання (з 600 до 1400 Н для пари сталь 45/ШХ15); з ростом навантаження коефіцієнт тертя і швидкість зношування знижуються.

Результати підтверджують необхідність розширення досліджень цього напрямку для вирішення комплексної проблеми підвищення надійності трибоспряджень.

**Ключові слова:** ремонтно-відновлювальні технології, геомодифікатори тертя, серпентин, важконавантажені пари тертя.