

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274062

**EFFECT OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PLASMA-ARC SPRAYING OF FLUX-CORED WIRE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF INTERMETALLIDE COATINGS BASED ON Fe<sub>3</sub>Al (p. 6–15)**

Volodymyr Korzhyk

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

Oleksii Burlachenko

E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2277-4202>

Dmytro Strohonov

E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4194-764X>

Nataliia Fialko

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

Maksym Kharlamov

Foreign Trade of the Chinese-Ukrainian  
of E. O. Paton Institute of Welding LTD, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3755-814X>

Oleksandr Grishchenko

E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2640-8656>

Sviatoslav Peleshenko

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

Existing techniques for applying intermetallic layers are characterized by low productivity, difficulties associated with the maintenance and operation of technological equipment, as well as significant costs for the purchase of materials for spraying. Therefore, modern science shows considerable interest in the development of new, highly effective technologies to form intermetallic coatings on the surface of articles. Such promising techniques include the technology of plasma-arc spraying (PAS) of flux-cored wires.

This technique has a number of significant advantages, namely high performance, relative simplicity, as well as the affordability of equipment and materials for coating. This paper reports a study into the structure and properties of coatings obtained by flux-cored wire PAS, in which the steel sheath and aluminum powder filler interact when heated with the exothermic effect of Fe<sub>3</sub>Al synthesis. The influence of technological parameters of PAS process on the structure and properties of Fe-Al coatings was investigated by means of mathematical planning of the experiment. It was found that in all samples the main phase is an intermetallic of the Fe<sub>3</sub>Al type. Tests for gas-abrasive wear resistance at room temperature showed that the wear resistance of coatings exceeds the stability of steel S235 by an average of 2 times. As a result of studying the electrochemical properties in a 3-% aqueous solution of NaCl and in a 0.5-% solution of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, the score of corrosion resistance for these media was deter-

mined, which was, respectively, 4 and 5 (coatings belong to the group of “resistant”). In this regard, the practical use of coatings based on the Fe<sub>3</sub>Al intermetallic is recommended for protection against oxidation, corrosion, and gas-abrasive wear of components and assemblies in the heat power industry (heat exchanger pipes, catalytic converters, steam turbine blades, shut-off valves, etc.).

**Keywords:** plasma-arc spraying, flux-cored wires, intermetallic type coatings, corrosion resistance.

## References

1. Aliofkhaezai, M. (Ed.) (2018). Intermetallic Compounds - Formation and Applications. IntechOpen. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.68256>
2. Zamanzade, M., Barnoush, A., Motz, C. (2016). A Review on the Properties of Iron Aluminide Intermetallics. Crystals, 6 (1), 10. doi: <https://doi.org/10.3390/cryst6010010>
3. Borisov, Yu. S., Borisova, A. L., Vigilianska, N. V., Grishchenko, O. P., Kolomytsev, M. V. (2020). Coatings based on Fe–Al intermetallics produced by the methods of plasma and supersonic air-gas plasma spraying. Automatic Welding, 7, 32–40. doi: <https://doi.org/10.37434/as2020.07.04>
4. Palm, M., Stein, F., Dehm, G. (2019). Iron Aluminides. Annual Review of Materials Research, 49 (1), 297–326. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-125911>
5. Deevi, S. C. (2021). Advanced intermetallic iron aluminide coatings for high temperature applications. Progress in Materials Science, 118, 100769. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100769>
6. Pougoum, F., Qian, J., Martinu, L., Klemberg-Sapieha, J., Zhou, Z., Li, K. Y. et al. (2019). Study of corrosion and tribocorrosion of Fe-3Al-based duplex PVD/HVOF coatings against alumina in NaCl solution. Surface and Coatings Technology, 357, 774–783. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.10.060>
7. Enayati, M. H., Karimzadeh, F., Jafari, M., Markazi, A., Tahvilian, A. (2014). Microstructural and wear characteristics of HVOF-sprayed nanocrystalline NiAl coating. Wear, 309 (1-2), 192–199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.10.015>
8. Chmielewski, T., Siwek, P., Chmielewski, M., Piątkowska, A., Grabias, A., Golański, D. (2018). Structure and Selected Properties of Arc Sprayed Coatings Containing In-Situ Fabricated Fe-Al Intermetallic Phases. Metals, 8 (12), 1059. doi: <https://doi.org/10.3390/met8121059>
9. Borisov, Yu. S., Borisova, A. L., Vihilianska, N. V., Demianov, I. A., Burlachenko, O. M. (2021). Electric arc spraying of intermetallic Fe–Al coatings using different solid and powder wires. Automatic Welding, 3, 17–22. doi: <https://doi.org/10.37434/as2021.03.03>
10. Ndumia, J. N., Kang, M., Gbenontin, B. V., Lin, J., Nyambura, S. M. (2021). A Review on the Wear, Corrosion and High-Temperature Resistant Properties of Wire Arc-Sprayed Fe-Based Coatings. Nanomaterials, 11 (10), 2527. doi: <https://doi.org/10.3390/nano11102527>
11. Korzhik, V. N., Korob, M. F. (2012). Mekhanizirovannaya liniya Plazer 30PL-W dlya plazmenno-dugovogo provolochnogo napyleniya pokrytiy na krupnogabaritnye detali tipa «val». Svartschik, 4, 13–15.
12. Gulyaev, I. P., Dolmatov, A. V., Kharlamov, M. Yu., Gulyaev, P. Yu., Jordan, V. I., Krivtsun, I. V. et al. (2015). Arc-Plasma Wire Spraying: An Optical Study of Process Phenomenology. Journal of Thermal Spray Technology, 24 (8), 1566–1573. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-015-0356-6>
13. Kharlamov, M. Yu., Krivtsun, I. V., Korzhik, V. N. (2013). Dynamic Model of the Wire Dispersion Process in Plasma-Arc Spraying. Journal

of Thermal Spray Technology, 23 (3), 420–430. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-013-0027-4>

14. Kharlamov, M. Yu., Krivtsun, I. V., Korzhyk, V. N., Ryabovolyk, Y. V., Demyanov, O. I. (2015). Simulation of Motion, Heating, and Breakup of Molten Metal Droplets in the Plasma Jet at Plasma-Arc Spraying. *Journal of Thermal Spray Technology*, 24 (4), 659–670. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-015-0216-4>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273788**

**DAMAGE FORMATIONS OF RAMIE FIBER COMPOSITES MULTILAYER ARMOUR SYSTEM UNDER HIGH-VELOCITY IMPACTS (p. 16–25)**

**Mujiyono**

Universitas Negeri Yogyakarta, Karangmalang, Yogyakarta, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9208-8913>

**Didik Nurhadiyanto**

Universitas Negeri Yogyakarta, Karangmalang, Yogyakarta, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0643-0776>

**Alaya Fadllu Hadi Mukhammad**

Diponegoro University, Tembalang, Semarang, Central Java, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9810-4427>

**Tri Widodo Besar Riyadi**

Universitas Muhammadiyah Surakarta, Pabelan Kartasura Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3809-0035>

**Kristanto Wahyudi**

Balai Besar Keramik, Bandung, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7068-1097>

**Nur Kholis**

Wahid Hasyim University, Sampangan, Kec. Gajahmungkur, Kota Semarang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8719-0024>

**Asri Peni Wulandari**

Padjadjaran University, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8505-9188>

**Shukur bin Abu Hassan**

Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2452-9203>

Multilayer armour system (MAS) becomes the best choice in reinforcing protection for military officers against projectile attack which has a high velocity of up to 7.62×51 mm nato ball lead core (projectile level III NIJ standard) or AP 7.62×51 mm hard steel core (projectile level IV NIJ standard). This study aimed to analyze the damage formation of wolfram carbide (WC) ceramic and ramie fiber composites. The frontmost MAS uses WC ceramic and is enveloped by a back layer of ramie fiber composites with epoxy resin reinforcing material as the matrix. Ballistic testing was carried out in this study using a long-barreled rifle to determine the resistance of the MAS from projectile impact. The speed meter in ballistic testing uses a velocity sensor type light screen B 471 and clay witness is used to measure back face signature (BFS). The results show that 7.62 lead core and hard steel core projectiles were unable to penetrate the 3-layer ceramic MAS in the front. The results are marked by a relatively low BFS value of 1.45 and 1.17 mm, so that the energy in the MAS with 3 ceramic layer is absorbed efficiently but with the phe-

nomenon of rupture ceramic failure. Ceramic rupture failure needs to be overcome by bonding several layers of ramie so that MAS can be used in the next stage. MAS with 1 and 2 ceramic layers are unable to withstand projectile level III and level IV NIJ standard. From these results it is known that the MAS limit can withstand the projectile level III and IV NIJ standard, namely MAS with 3 ceramic layers. The damage formation of ceramic was rupturing ceramic failure. Therefore, it is necessary to design a ceramic binder by placing some ramie fibers in front of the ceramic.

**Keywords:** multilayer armour system, wolfram carbide, ramie fiber, back face signature.

**References**

- Nurhadiyanto, D., Mujiyono, Mukhammad, A. F. H., Setyoko, M. B., bin Yahya, M. Y., Riyadi, T. W. B. (2021). Drop test resistance on ramie fiber bulletproof panels based on harvest time and fiber treatment of ramie. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*, 12 (1), 1–16. doi: <https://doi.org/10.1615/compmechcomputaplintj.2020035788>
- Grujicic, M., Pandurangan, B., d'Entremont, B. (2012). The role of adhesive in the ballistic/structural performance of ceramic/polymer–matrix composite hybrid armor. *Materials & Design*, 41, 380–393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.05.023>
- Serjoui, A., Chi, R., Zhang, Z., Sridhar, I. (2015). Experimental validation of BLV model on bi-layer ceramic-metal armor. *International Journal of Impact Engineering*, 77, 30–41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2014.11.001>
- Akella, K., Naik, N. K. (2015). Composite Armour – A Review. *Journal of the Indian Institute of Science*, 95 (3), 297–312. Available at: <http://journal.library.iisc.ernet.in/index.php/iisc/article/view/4574/4871>
- Medvedovski, E. (2010). Ballistic performance of armour ceramics: Influence of design and structure. Part 1. *Ceramics International*, 36 (7), 2103–2115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.05.021>
- Tasdemirci, A., Tunusoglu, G., Güden, M. (2012). The effect of the interlayer on the ballistic performance of ceramic/composite armors: Experimental and numerical study. *International Journal of Impact Engineering*, 44, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2011.12.005>
- Tabiei, A., Nilakantan, G. (2008). Ballistic Impact of Dry Woven Fabric Composites: A Review. *Applied Mechanics Reviews*, 61 (1). doi: <https://doi.org/10.1115/1.2821711>
- Cheeseman, B. A., Bogetti, T. A. (2003). Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. *Composite Structures*, 61 (1-2), 161–173. doi: [https://doi.org/10.1016/s0263-8223\(03\)00029-1](https://doi.org/10.1016/s0263-8223(03)00029-1)
- Kumar, S., Malek, A., Babu, R., Mathur, S. (2021). Ballistic Efficiency of Multilayered Armor System Reinforced with Jute-Kevlar Epoxy Composite against High-Energy Steel Core Projectile. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30 (11), 8447–8464. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06057-9>
- Cruz, R. B. da, Lima Junior, E. P., Monteiro, S. N., Louro, L. H. L. (2015). Giant Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composite in Multilayered Ballistic Armor. *Materials Research*, 18 (suppl 2), 70–75. doi: <https://doi.org/10.1590/1516-1439.347514>
- Luz, F. S. da, Lima Junior, E. P., Louro, L. H. L., Monteiro, S. N. (2015). Ballistic Test of Multilayered Armor with Intermediate Epoxy Composite Reinforced with Jute Fabric. *Materials Research*, 18 (suppl 2), 170–177. doi: <https://doi.org/10.1590/1516-1439.358914>
- Braga, F. de O., Bolzan, L. T., Ramos, F. J. H. T. V., Monteiro, S. N., Lima Jr., É. P., Silva, L. C. da. (2018). Ballistic Efficiency of Multilayered Armor Systems with Sisal Fiber Polyester Composites.

- Materials Research, 20 (suppl 2), 767–774. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-1002>
13. Braga, F. de O., Bolzan, L. T., Lima Jr., É. P., Monteiro, S. N. (2017). Performance of natural curaua fiber-reinforced polyester composites under 7.62 mm bullet impact as a stand-alone ballistic armor. *Journal of Materials Research and Technology*, 6 (4), 323–328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.003>
  14. Monteiro, S., Pereira, A., Ferreira, C., Pereira Júnior, É., Weber, R., Assis, F. (2018). Performance of Plain Woven Jute Fabric-Reinforced Polyester Matrix Composite in Multilayered Ballistic System. *Polymers*, 10 (3), 230. doi: <https://doi.org/10.3390/polym10030230>
  15. Wambua, P., Vangrimde, B., Lomov, S., Verpoest, I. (2007). The response of natural fibre composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. *Composite Structures*, 77 (2), 232–240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.07.006>
  16. Kumar, A. P., Singh, R. P., Sarwade, B. D. (2005). Degradability of composites, prepared from ethylene–propylene copolymer and jute fiber under accelerated aging and biotic environments. *Materials Chemistry and Physics*, 92 (2-3), 458–469. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.01.027>
  17. Soykeabkaew, N., Supaphol, P., Rujiravanit, R. (2004). Preparation and characterization of jute- and flax-reinforced starch-based composite foams. *Carbohydrate Polymers*, 58 (1), 53–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.037>
  18. Mohammed, L., Ansari, M. N. M., Pua, G., Jawaid, M., Islam, M. S. (2015). A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–15. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/243947>
  19. Monteiro, S. N., Milanezi, T. L., Louro, L. H. L., Lima, É. P., Braga, F. O., Gomes, A. V., Drelich, J. W. (2016). Novel ballistic ramie fabric composite competing with Kevlar™ fabric in multilayered armor. *Materials & Design*, 96, 263–269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.024>
  20. Rajole, S., Ravishankar, K. S., Kulkarni, S. M. (2020). Performance study of jute-epoxy composites/sandwiches under normal ballistic impact. *Defence Technology*, 16 (4), 947–955. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.11.011>
  21. Mohanty, A. K., Khan, M. A., Hinrichsen, G. (2000). Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics – polyester amide composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31 (2), 143–150. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-835x\(99\)00057-3](https://doi.org/10.1016/s1359-835x(99)00057-3)
  22. Subhi, K. A., Hussein, E. K., Al-Hamadani, H. R. D., Sharaf, H. K. (2022). Investigation of the mechanical performance of the composite prosthetic keel based on the static load: a computational analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 22–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.256943>
  23. Kumar, S., Akella, K., Joshi, M., Tewari, A., Naik, N. K. (2020). Performance of Ceramic-Composite Armors under Ballistic Impact Loading. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29 (9), 5625–5637. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05041-z>
  24. Mujiyono, Nurhadiyanto, D., Mukhammad, A. F. H. (2017). Ramie Fiber Reinforced Epoxy (RFRE) Composite for Bulletproof Panels. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 9 (7S), 228–240. Available at: <https://www.ajol.info/index.php/jfas/article/view/168564>
  25. Shakil, U. A., Abu Hassan, S. B., Yahya, M. Y., Mujiyono, Nurhadiyanto, D. (2021). A review of properties and fabrication techniques of fiber reinforced polymer nanocomposites subjected to simulated accidental ballistic impact. *Thin-Walled Structures*, 158, 107150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107150>
  26. Pangestu, T. P., Ahmad, W. A., Bawono, A. S., Aqif, M. (2020). The performance of stability test using Bantak aggregate and AC50/70 as polymer on Marshall characteristic. *Journal of Engineering and Applied Technology*, 1 (2), 97–109. doi: <https://doi.org/10.21831/jeatech.v1i2.39232>
  27. Mukasey, M. B., Sedgwick, J. L., Hagy, D. W. (2008). Ballistic Resistance of Body Armor. NIJ Standard-0101.06. Available at: <https://www.nist.gov/system/files/documents/oles/ballistic.pdf>
  28. Flores-Johnson, E. A., Saleh, M., Edwards, L. (2011). Ballistic performance of multi-layered metallic plates impacted by a 7.62-mm APM2 projectile. *International Journal of Impact Engineering*, 38 (12), 1022–1032. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2011.08.005>
  29. Salient features of Indian Standard on Bullet resistant jackets (IS 17051:2018). Available at: <https://ficci.in/events/24084/ISP/BRJ.pdf>
  30. Nascimento, L. F. C., Louro, L. H. L., Monteiro, S. N., Gomes, A. V., Marçal, R. L. S. B., Lima Júnior, É. P., Margem, J. I. (2017). Ballistic Performance of Mallow and Jute Natural Fabrics Reinforced Epoxy Composites in Multilayered Armor. *Materials Research*, 20 (suppl 2), 399–403. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0927>
  31. Garcia Filho, F. D. C., Oliveira, M. S., Pereira, A. C., Nascimento, L. F. C., Ricardo Gomes Matheus, J., Monteiro, S. N. (2020). Ballistic behavior of epoxy matrix composites reinforced with piassava fiber against high energy ammunition. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (2), 1734–1741. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.004>
  32. Hu, D., Wang, J., Yin, L., Chen, Z., Yi, R., Lu, C. (2017). Experimental study on the penetration effect of ceramics composite projectile on ceramic / A3 steel compound targets. *Defence Technology*, 13 (4), 281–287. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.05.011>
  33. Monteiro, S. N., Lima, É. P., Louro, L. H. L., da Silva, L. C., Drelich, J. W. (2014). Unlocking Function of Aramid Fibers in Multilayered Ballistic Armor. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46 (1), 37–40. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-014-2678-2>

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274064

**THE EFFECT OF ALKALIZATION AND ESTERIFICATION TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF WATER HYACINTH FIBER REINFORCED EPOXY-RESIN COMPOSITE (p. 26–33)**

**Sulardjaka Sulardjaka**

Diponegoro University, Tembalang,  
Semarang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8273-0469>

**Norman Iskandar**

Diponegoro University, Tembalang,  
Semarang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0981-8151>

**Parlindungan Manik**

Diponegoro University, Tembalang,  
Semarang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9408-4468>

**Dwi Satrio Nurseto**

Diponegoro University, Tembalang,  
Semarang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6536-5989>

This research investigates the effect of fiber pre-treatment on the mechanical and physical properties of unidirectional water hyacinth (WH) fiber reinforced epoxy resin composites. The water hyacinth fibers have been produced by mechanical processing. The 50–70 cm length of WH stems are brushed with an iron brush to mechanically extract the strands. The dry fibers then were pre-

treated by alkalization and esterification. The alkalization has been conducted by immersing the WH fibers on 2 %, 5 % and 10 % NaOH solution for 24 h. The esterification of WH fibers have been done using acetate anhydride. The composite with 15 %, 25 % and 35 % of unidirectional WH fibers was made by hand lay-up. After hand lay up process the WH composites then compacting with pressure compaction 5 MPa. Tensile test and was done based on ASTM D3039. The density of composites was tested based on Archimedes rule. Surface contaminants have been eliminated by fiber treatment. The NaOH treatment eliminated the surface's wax and cuticle. The surface of fibers treated with 10 % NaOH was cleaner than those treated with 5 % NaOH. Fiber treatment has the effect of reducing fiber thickness. The tensile test results of the composite reinforced with WH fiber with NaOH treated and acetate anhydride show that the tensile strength of untreated WH fiber reinforced epoxy resin composites increased with the increase of % WH fiber. The tensile strength results that acetate anhydride treatment of WH fiber reinforced epoxy resin composites showed increased WH fiber increase the tensile strength of composite. The highest tensile strength of epoxy resin reinforced with WH fiber with acetate anhydride treatment.

**Keywords:** Composite, Natural Fiber, Epoxy-resin, Water Hyacinth, Alkalization, Esterification, Tensile Strength.

#### References

- Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Madhavan, A., Alphonsa, J. A., Vivek, N. et al. (2017). Water hyacinth a potential source for value addition: An overview. *Bioresource Technology*, 230, 152–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.035>
- Hidayati, N., Soeprobawati, T. R., Helmi, M. (2018). The evaluation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) control program in Rawapening Lake, Central Java Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 142, 012016. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012016>
- Teygeler, R. (2000). Water hyacinth paper. Contribution to a sustainable future. *Paper and Water*, 168–188. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Rene-Teijgeler/publication/323226395\\_Waterhyacinthpapier\\_Bijdrage\\_aan\\_een\\_duurzame\\_toekomst\\_Waterhyacinth\\_paper\\_Contribution\\_to\\_a\\_sustainable\\_future\\_bi-lingual/links/5a870a64aca272017e5aad54/Waterhyacinthpapier-Bijdrage-aan-een-duurzame-toekomst-Waterhyacinth-paper-Contribution-to-a-sustainable-future-bi-lingual.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rene-Teijgeler/publication/323226395_Waterhyacinthpapier_Bijdrage_aan_een_duurzame_toekomst_Waterhyacinth_paper_Contribution_to_a_sustainable_future_bi-lingual/links/5a870a64aca272017e5aad54/Waterhyacinthpapier-Bijdrage-aan-een-duurzame-toekomst-Waterhyacinth-paper-Contribution-to-a-sustainable-future-bi-lingual.pdf)
- Choudhary, A. K., Chelladurai, H., Kannan, C. (2015). Optimization of Combustion Performance of Bioethanol (Water Hyacinth) Diesel Blends on Diesel Engine Using Response Surface Methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40 (12), 3675–3695. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1810-y>
- Gao, J., Chen, L., Yan, Z., Wang, L. (2013). Effect of ionic liquid pretreatment on the composition, structure and biogas production of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresource Technology*, 132, 361–364. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.136>
- Gupta, A., Balomajumder, C. (2015). Removal of Cr(VI) and phenol using water hyacinth from single and binary solution in the artificial photosynthesis chamber. *Journal of Water Process Engineering*, 7, 74–82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.05.008>
- Rani, S., Sumanjit, Mahajan, R. K. (2015). Comparative study of surface modified carbonized *Eichhornia crassipes* for adsorption of dye safranin. *Separation Science and Technology*, 150629133342008. doi: <https://doi.org/10.1080/01496395.2015.1061003>
- Romanova, T. E., Shuvaeva, O. V., Belchenko, L. A. (2015). Phytoextraction of trace elements by water hyacinth in contaminated area of gold mine tailing. *International Journal of Phytoremediation*, 18 (2), 190–194. doi: <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1073674>
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Bordoloi, S., Kashyap, V., Garg, A., Sreedeeep, S., Wei, L., Andriyas, S. (2018). Measurement of mechanical characteristics of fiber from a novel invasive weed: A comprehensive comparison with fibers from agricultural crops. *Measurement*, 113, 62–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.044>
- Tumolva, T., Ortenero, J., Kubouchi, M. (2013). Characterization and treatment of water hyacinth fibers for NFRP composites. *The 19th International Conference on Composite Materials*. Montreal.
- Bhuvaneshwari, M., Sangeetha, K. (2017). Development of Water Hyacinth nonwoven fabrics for thermal insulation. *Journal on Future Engineering & Technology*, 13 (1), 22. doi: <https://doi.org/10.26634/jfet.13.1.13759>
- Jha, K., Kataria, R., Verma, J., Pradhan, S. (2019). Potential biodegradable matrices and fiber treatment for green composites: A review. *AIMS Materials Science*, 6 (1), 119–138. doi: <https://doi.org/10.3934/matserci.2019.1.119>
- Rangappa, S. M., Siengchin, S. (2018). Natural Fibers as Perspective Materials. *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, 11 (4). doi: <https://doi.org/10.14416/j.ijast.2018.09.001>
- Jawaid, M., Abdul Khalil, H. P. S. (2011). Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86 (1), 1–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.043>
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37 (11), 1552–1596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
- Sanjay, M. R., Siengchin, S., Parameswaranpillai, J., Jawaid, M., Pruncu, C. I., Khan, A. (2019). A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 207, 108–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.083>
- Valadez-Gonzalez, A., Cervantes-Uc, J. M., Olayo, R., Herrera-Franco, P. J. (1999). Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 30 (3), 309–320. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-8368\(98\)00054-7](https://doi.org/10.1016/s1359-8368(98)00054-7)
- Chonsakorn, S., Srivorradatpaisan, S., Mongkhlorattanasit, R. (2018). Effects of different extraction methods on some properties of water hyacinth fiber. *Journal of Natural Fibers*, 16 (7), 1015–1025. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1448316>
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 43 (7), 2883–2892. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>
- Sapci, Z. (2013). The effect of microwave pretreatment on biogas production from agricultural straws. *Bioresource Technology*, 128, 487–494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.094>
- Sood, M., Dwivedi, G. (2018). Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27 (4), 775–783. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.11.005>
- Suarsana, I., Suryawan, I., Suardana, N., Winaya, S., Soenoko, R., Suyasa, B. et al. (2021). Flexural strength of hybrid composite resin epoxy reinforced stinging nettle fiber with silane chemical treatment. *AIMS Materials Science*, 8 (2), 185–199. doi: <https://doi.org/10.3934/matserci.2021013>

24. Supri, A. G., Ismail, H. (2011). The Effect of Isophorone Diisocyanate-Polyhydroxyl Groups Modified Water Hyacinth Fibers (Eichhornia Crassiper) on Properties of Low Density Polyethylene/Acrylonitrile Butadiene Styrene (LDPE/ABS) Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50 (2), 113–120. doi: <https://doi.org/10.1080/03602559.2010.531428>
25. Thiripura Sundari, M., Ramesh, A. (2012). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from the aquatic weed water hyacinth – Eichhornia crassipes. *Carbohydrate Polymers*, 87 (2), 1701–1705. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.076>
26. Saputra, A. H., Difandra, A., Pitaloka, A. B. (2013). The Effect of Surface Treatment on Composites of Water Hyacinth Natural Fiber Reinforced Epoxy Resin. *Advanced Materials Research*, 651, 480–485. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.651.480>
27. Aleño, J. B., Ramos, H. J., Jose, W. I. (2014). Determination of Properties of yarns made from Water Hyacinth and pineapple indigenous fibers treated using plasma enhanced chemical vapour deposition. 5th International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2014). Penang.
28. Thi, B. T. N., Thanh, L. H. V., Lan, T. N. P., Thuy, N. T. D., Ju, Y.-H. (2017). Comparison of Some Pretreatment Methods on Cellulose Recovery from Water Hyacinth (Eichhornia Crassipe). *Journal of Clean Energy Technologies*, 5 (4), 274–279. doi: <https://doi.org/10.18178/jocet.2017.5.4.382>
29. Asrofi, M., Abral, H., Kasim, A., Pratoto, A., Mahardika, M., Hafizulhaq, F. (2018). Mechanical Properties of a Water Hyacinth Nanofiber Cellulose Reinforced Thermoplastic Starch Bionanocomposite: Effect of Ultrasonic Vibration during Processing. *Fibers*, 6 (2), 40. doi: <https://doi.org/10.3390/fib6020040>
30. Abdel-Fattah, A. F., Abdel-Naby, M. A. (2012). Pretreatment and enzymic saccharification of water hyacinth cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 87 (3), 2109–2113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.033>
31. Sivasankari, B., David Ravindran, A. (2016). A Study on Chemical Analysis of Water Hyacinth (Eichornia crassipes), Water Lettuce (Pistia stratiotes). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (10), 17566–17570. doi: <https://doi.org/10.15680/ijirset.2016.0510010>
32. Manimaran, P., Senthamaraikannan, P., Murugananthan, K., Sanjay, M. R. (2017). Physicochemical Properties of New Cellulosic Fibers from Azadirachta indica Plant. *Journal of Natural Fibers*, 15 (1), 29–38. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302388>
33. Ribeiro, A., Pochart, P., Day, A., Mennuni, S., Bono, P., Baret, J.-L. et al. (2015). Microbial diversity observed during hemp retting. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99 (10), 4471–4484. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6356-5>
34. Khankham, P., Nhuapeng, W., Thamjaree, W. (2017). Fabrication and Mechanical Properties of the Biocomposites between Water Hyacinth Fiber and Paper Mulberry. *Key Engineering Materials*, 757, 73–77. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.757.73>
35. Salas-Ruiz, A., Barbero-Barrera, M. del M. (2019). Performance assessment of water hyacinth–cement composite. *Construction and Building Materials*, 211, 395–407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.217>
36. Abral, H., Kadriadi, D., Rodianus, A., Mastariyanto, P., Ilhamdi, Arief, S. et al. (2014). Mechanical properties of water hyacinth fibers – polyester composites before and after immersion in water. *Materials & Design*, 58, 125–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.043>
37. Huda, N. N., Nath, P., Al Amin, M., Rafiquzzaman, M. (2017). Charpy Impact Behavior of Water Hyacinth Fiber Based Polymer Composite. *Journal of Material Science & Manufacturing Technology*, 2 (2). Available at: <https://www.kuet.ac.bd/webportal/ppmv2/uploads/1509249811Paper-Water%20Hyacinth.pdf>
38. Supri, A. G., Lim, B. Y. (2009). Effect of Treated and Untreated Filler Loading on the Mechanical, Morphological, and Water Absorption Properties of Water Hyacinth Fibers-Low Density Polyethylene Composites. *Journal of Physical Science*, 20 (2), 85–96. Available at: [http://web.usm.my/jps/20-2-09/JPS%2020\\_2\\_%20ART%207%20\\_85-96\\_.pdf](http://web.usm.my/jps/20-2-09/JPS%2020_2_%20ART%207%20_85-96_.pdf)
39. Dantas, L. G., Motta, L. A. de C., Pasquini, D., Vieira, J. G. (2019). Surface Esterification of Sisal Fibres for use as Reinforcement in Cementitious Matrix. *Materials Research*, 22 (4). doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0585>
40. Sulardjaka, S., Iskandar, N., Nugroho, S., Alamsyah, A., Prasetya, M. Y. (2022). The characterization of unidirectional and woven water hyacinth fiber reinforced with epoxy resin composites. *Heliyon*, 8 (9), e10484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10484>
41. Ajithram, A., Winowlin Jappes, J. T., Siva, I., Brintha, N. C. (2022). Utilizing the aquatic waste and investigation on water hyacinth (Eichhornia crassipes) natural plant in to the fibre composite: Waste recycling. *Materials Today: Proceedings*, 58, 953–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.301>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.272534**  
**OPTIMUM ABRASIVE WEAR RESISTANCE FOR EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH POLYETHYLENE (PET) WASTE USING TAGUCHI DESIGN AND NEURAL NETWORK (p. 34–40)**

**Salwa A. Abed**

Middle Technical University, Baquba, Diyala, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6116-7512>

**Ahmad A. Khalaf**

Middle Technical University, Baquba, Diyala, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8684-3575>

**Muzher Taha Mohamed**

University of Diyala, Baghdad, Diyala, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3059-065x>

**Muammel M. Hanon**

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Godollo, Hungary  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4811-5723>

The current work presents a study of the tribological properties of composite materials designed based on polyethylene terephthalate (PET), which has an important role in the structures of machines, represented by tribological couplings made of composite polymers. The paper examined the effect of two factors, namely recycled waste heating time (HT) and weight percentage (wt. %), on the improvement of the abrasive wear resistance of micro-filler-reinforced epoxy composites.

The current research aims to develop epoxy composites by improving abrasive wear resistance while ensuring low cost and weight. Improving wear resistance due to the use of epoxy composites to connect joints that operate under conditions without lubrication in various industrial fields will increase their operational life. The signal-to-noise ratio was analyzed to find out the effect of test parameters HT and wt. % on the wear rate of epoxy composites. Using MINITAB 19 software, regression equations were obtained for each variable to compare it with the Artificial Neural Network (ANN) results. Predictive models based on the regression equation and artificial neural network were developed to predict the wear rate of epoxy composites, and to determine which model is more efficient,

their results were compared and the most appropriate model with the low error was determined. The results of the current research showed that the wear resistance of epoxy composites reinforced with RCCF improved by 41 % when increasing wt. % and HT, and also showed that the ANN model is more suitable than the regression model for predicting the wear rate of epoxy composites.

**Keywords:** epoxy composites, PET waste, abrasive wear, Taguchi, artificial neural network.

## References

- 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>
- Ray, S. (2021). Parametric Optimization and Prediction of Abrasion Wear Behavior of Marble-Particle-Filled Glass-Epoxy Composites Using Taguchi Design Integrated with Neural Network. *JOM*, 73 (7), 2050–2059. doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-021-04698-8>
- Singh, A. K., Bedi, R., Kaith, B. S. (2020). Mechanical properties of composite materials based on waste plastic – A review. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1293–1301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.258>
- Karabork, F. (2022). Investigation of the mechanical, tribological and corrosive properties of epoxy composite coatings reinforced with recycled waste tire products. *Express Polymer Letters*, 16 (11), 1114–1127. doi: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2022.82>
- Sivaras, R., Sathishkumar, T. P., Naveenathakrishnan, P. (2019). Investigation on Tribological and Mechanical Properties of Filler Reinforced Epoxy Composite. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7 (2). Available at: <https://www.ijert.org/research/investigation-on-tribological-and-mechanical-properties-of-filler-reinforced-epoxy-composite-IJERTCONV7IS02019.pdf>
- Wojciechowski, Ł., Sydow, Z., Bula, K., Gapiński, B. (2023). Friction and wear of polypropylene-based composites reinforced with cherry seed powder. *Tribology International*, 179, 108177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108177>
- Tian, J., Qi, X., Li, C., Xian, G. (2023). Friction behaviors and wear mechanisms of multi-filler reinforced epoxy composites under dry and wet conditions: Effects of loads, sliding speeds, temperatures, water lubrication. *Tribology International*, 179, 108148. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108148>
- Khalaf, A. A., Abed, S. A., Alkhfaji, S. S., Al-Obaidi, M. A., Hanon, M. M. (2022). The effect of adding natural materials waste on the mechanical properties and water absorption of epoxy composite using grey relations analysis. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 131–142. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001952>
- Abed, S. A., Khalaf, A. A., Shaalan, T. G. (2020). Experiential Analysis of Mechanical Properties and Strain Energy of Epoxy/Micro Filler Cu-Ni Composite. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(1), 143–150. Available at: [https://jmerd.net/Paper/Vol.43,No.1\(2020\)/143-150.pdf](https://jmerd.net/Paper/Vol.43,No.1(2020)/143-150.pdf)
- Abed, S. A., Khalaf, A. A., Mnati, H. M., Hanon, M. M. (2022). Optimization of mechanical properties of recycled polyurethane waste microfiller epoxy composites using grey relational analysis and taguchi method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (115)), 48–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252719>
- Toth, L. F., Szebenyi, G., Sukumaran, J., De Baets, P. (2021). Tribological characterization of nanoparticle filled PTFE: Wear-induced crystallinity increase and filler accumulation. *Express Polymer Letters*, 15 (10), 972–986. doi: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2021.78>
- Imani, A., Zhang, H., Owais, M., Zhao, J., Chu, P., Yang, J., Zhang, Z. (2018). Wear and friction of epoxy based nanocomposites with silica nanoparticles and wax-containing microcapsules. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 107, 607–615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.01.033>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274062

**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВО-ДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ Fe<sub>3</sub>Al (с. 6–15)**

В. М. Коржик, О. М. Бурлаченко, Д. В. Строгонов, Н. М. Фіалко, М. Ю. Харламов, О. П. Грищенко, С. І. Пелешенко

Існуючі способи нанесення інтерметалідних шарів характеризуються низькою продуктивністю, складнощами пов'язаними з обслуговуванням і експлуатацією технологічного обладнання та значними витратами на закупівлю матеріалів для напилення. Тому, сучасна наука виявляє значний інтерес до питань розробки нових, високоефективних технологій формування на поверхні виробів інтерметалідних покриттів. До таких перспективних способів слід віднести технологію плазово-дугового напилення (ПДН) порошкових дротів. Цей спосіб має ряд значних переваг, а саме високу продуктивність, відносну простоту та доступність обладнання та матеріалів для нанесення покриттів. Було досліджено структуру і властивості покриттів, отриманих ПДН порошкового дроту, в якому сталева оболонка та наповнювач із порошку алюмінію взаємодіє при нагріванні з екзотермічним ефектом синтезу Fe<sub>3</sub>Al. Шляхом математичного планування експерименту досліджено вплив технологічних параметрів процесу ПДН на структуру та властивості Fe-Al покриттів. З'ясовано, що у всіх зразках основною фазою є інтерметалід типу Fe<sub>3</sub>Al. Випробування на газообразивну зносостійкість при кімнатній температурі показали, що зносостійкість покриттів перевищує стійкість сталі S235 в середньому у 2 рази. В результаті досліджень електрохімічних властивостей в 3 % водному розчині NaCl та у 0,5 % розчині H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, визначено бал корозійної стійкості для даних середовищ, становить відповідно, 4 і 5 (покриття належать до групи «стійких»). У зв'язку з цим рекомендовано практичне застосування покриттів на основі інтерметаліду Fe<sub>3</sub>Al для захисту від окиснення, корозії та газообразивного зносу вузлів і агрегатів в теплоенергетиці (труби теплообмінників, каталітичні нейтралізатори, лопатки парових турбін, запорна арматура, та ін.).

**Ключові слова:** плазово-дугове напилення, порошкові дроти, покриття інтерметалідного типу, корозійна стійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273788

**УТВОРЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ БАГАТОШАРОВОЇ БРОНЕВОЇ СИСТЕМИ КОМПОЗИТІВ З ВОЛОКНА РАМІ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ УДАРІ (с. 16–25)**

Mujiyono, Didik Nurhadiyanto, Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, Tri Widodo Besar Riyadi, Kristanto Wahyudi, Nur Kholis, Asri Peni Wulandari, Shukur bin Abu Hassan

Система багатошарової броні (СББ) стає найкращим вибором для посилення захисту для військових офіцерів від атаки кулями, які мають високу швидкість до 7,62×51 мм із свинцевого сердечника НАТО (рівень III NIJ) або AP 7,62×51 мм із твердої сталі сердечника (рівень IV стандарт NIJ). Це дослідження мало на меті проаналізувати утворення пошкоджень кераміки з карбиду вольфраму (WC) і композитів з волокна рамі. У передній частині СББ використовується кераміка WC і покрита заднім шаром композитних матеріалів із волокна рамі з армуючим матеріалом із епоксидної смоли як матриці. У цьому дослідженні було проведено балістичне випробування з використанням довгоствольної рушниці для визначення стійкості СББ від удару кулі. Швидкомір під час балістичних випробувань використовує світловий екран типу датчика швидкості В 471, а глиняний свідок використовується для вимірювання сигнатури задньої поверхні (СЗП). Результати показують, що кулі зі свинцевим сердечником 7,62 і твердим сталевим сердечником не змогли пробити 3-шаровий керамічний СББ у передній частині. Результати відзначені відносно низьким значенням СЗП 1,45 і 1,17 мм, так що енергія в MAS з 3 шарами кераміки поглинається ефективно, але з явищем руйнування кераміки. Розрив кераміки необхідно подолати шляхом склеювання кількох шарів рамі, щоб СББ можна було використовувати на наступному етапі. СББ з 1 і 2 керамічними шарами не можуть витримувати кулі рівня III і рівня IV стандарту NIJ. З цих результатів відомо, що межа СББ може витримувати стандарт III і IV рівня кулі NIJ, а саме СББ з 3 шарами кераміки. Утворення пошкоджень кераміки було розривом керамічного руйнування. Таким чином, необхідно розробити керамічне сполучне, розмістивши кілька волокон рамі перед керамікою.

**Ключові слова:** багатошарова броньова система, карбід вольфраму, волокно рамі, тильна сигнатура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274064

**ВПЛИВ ПІДЛУЖУВАННЯ ТА ЕТЕРИФІКАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ, АРМОВАНОЇ ВОЛОКНАМИ ВОДЯНОГО ГІАЦИНТУ (с. 26–33)**

Sulardjaka Sulardjaka, Norman Iskandar, Parlindungan Manik, Dwi Satrio Nurseto

У цьому дослідженні досліджується вплив попередньої обробки волокна на механічні та фізичні властивості односпрямованих композитів на основі епоксидної смоли, армованих волокном водяного гіацинту (ВГ). Волокна водяного гіацинту отримані шляхом механічної обробки. Стебла ВГ довжиною 50–70 см розчісують залізною щіткою, щоб механічно витягнути пасма. Потім сухі волокна попередньо обробляють шляхом підлужнення та етерифікації. Підлужнення проводили шляхом занурення волокон у 2 %, 5 % та 10 % розчин NaOH на 24 години. Етерифікацію волокон ВГ проводили з використанням ацетатного ангідриду. Композит з 15 %, 25 % і 35 % односпрямованих волокон ВГ виготовлявся ручним накладанням. Після ручного укладання композити оброблялись ВГ, потім

ущільнювались під тиском 5 МПа. Випробування на розтяг проводилося згідно з ASTM D3039. Щільність композитів перевіряли за правилом Архімеда. Поверхневі забруднення були усунені шляхом обробки волокон. Обробка NaOH усунула поверхневий віск і кутикулу. Поверхня волокон, оброблених 10 % NaOH, була чистішою, ніж оброблена 5 % NaOH. Обробка волокон має ефект зменшення товщини волокна. Результати випробування на розтягування композиту, армованого волокном ВГ з обробкою NaOH і ацетатним ангідридом, показують, що міцність на розрив необроблених композитів на основі епоксидної смоли, армованих волокном ВГ, зростала зі збільшенням % волокон ВГ. Результати міцності на розрив, отримані при обробці ангідридом ацетату композитів на основі епоксидної смоли, армованих волокном ВГ, показали, що збільшення волокон ВГ підвищує міцність на розрив композиту. Найвища міцність на розрив епоксидної смоли, армованої волокном ВГ з обробкою ацетатним ангідридом.

**Ключові слова:** композит, натуральне волокно, епоксидна смола, водний гіацинт, алкалізація, етерифікація, міцність на розрив.

---

**DOI:** 10.15587/1729-4061.2023.272534

## **ОПТИМАЛЬНА АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ, АРМОВАНИХ ВІДХОДАМИ ПОЛІЕТИЛЕНУ (ПЕТ) З ВИКОРИСТАННЯМ КОНСТРУКЦІЇ ТАГУТІ І НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 34–40)**

**Salwa A. Abed, Ahmad A. Khalaf, Muzher Taha Mohammed, Muammel M. Hanon**

У роботі представлено дослідження трибологічних властивостей композитних матеріалів, розроблених на основі поліетилен-терефталату (ПЕТ), який відіграє важливу роль у конструкціях машин, представлених трибологічними парами, виготовленими з композитних полімерів. У статті вивчено вплив двох факторів, а саме часу нагрівання перероблених відходів (НТ) та масової частки (мас. %), на підвищення абразивної зносостійкості епоксидних композитів, армованих мікронаповнювачем.

Метою даного дослідження є розробка епоксидних композитів з підвищеною абразивною зносостійкістю при забезпеченні низької вартості та ваги. Підвищення зносостійкості завдяки використанню епоксидних композитів для з'єднань, що працюють в умовах відсутності мастильного матеріалу в різних галузях промисловості, дозволить збільшити термін їхньої служби. Для визначення впливу параметрів НТ та мас. % на швидкість зносу епоксидних композитів було проаналізовано відношення сигнал/шум. За допомогою програмного забезпечення MINITAB 19 були отримані рівняння регресії для кожної змінної для їхнього порівняння з результатами штучної нейронної мережі (ШНМ). Для прогнозування швидкості зносу епоксидних композитів на основі рівняння регресії та штучної нейронної мережі були розроблені прогностичні моделі. Для визначення найбільш ефективної моделі проведено порівняння їхніх результатів та виявлена найбільш підходяща модель з низькою похибкою. Результати дослідження показали поліпшення зносостійкості епоксидних композитів, армованих RSCF, на 41 % при збільшенні мас. % та НТ, а також більш високу ефективність моделі ШНМ порівняно з регресійною моделлю для прогнозування швидкості зносу епоксидних композитів.

**Ключові слова:** епоксидні композити, відходи ПЕТ, абразивне зношування, Тагуті, штучна нейронна мережа.