

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293009

DEVELOPMENT OF Fe-13.8Cr-8.9Mn ALLOY FOR STEEL BIOMATERIALS (p. 6–15)**Ratna Kartikasari**

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Depok, Sleman, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8859-3258>**Adi Subardi**

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Depok, Sleman, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0867-3624>**Rivan Muhfidin**

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Depok, Sleman, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1713-1782>**Ihwanul Aziz**National Nuclear Energy Agency of Indonesia (BATAN),
Caturtunggal, Sleman, Yogyakarta, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6382-6032>**Marwan Effendy**Universitas Muhammadiyah Surakarta, Pabelan, Kartasura,
Sukoharjo, Jawa Tengah, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8917-9059>**Triyono**

Surakarta State University, Surakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4562-0628>**Kuncoro Diharjo**

Surakarta State University, Surakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1628-1623>

Traumatic, osteoarthritic, tumoral, and congenital bone issues impact human lives and health. The next generation of bone implants is made from biodegradable materials, including Fe-based materials with superior mechanical properties and high biocompatibility. However, efforts to inhibit the risk of inflammation and bacterial infection due to the biological response and corrosion properties of metals are a significant challenge. This study aims to develop biomaterials based on Fe-Cr-Mn alloys to obtain superior physical and mechanical properties through plasma nitriding. Each sample was plasma-nitridated in a vacuum chamber at various temperatures of 250–450 °C for 3 hours at a pressure of 1.8 kPa. Several main tests were performed to investigate the effects of plasma nitriding, such as the chemical compositions of raw material, surface nitrogen contents, phase changes, thickness, hardness, and corrosion. Those parameters were then used to evaluate plasma nitriding's effectiveness, including observing the change in phenomena at each temperature treatment. The results indicated that forming the S phase on the surface of Fe-13.8Cr-8.9Mn alloy is a saturated solution of nitrogen in γ -Fe, where the nitrogen content on the surface increases with increasing nitriding temperature. The layer's surface hardness is uniform across its whole thickness, which reduces as the grade of raw material passes through the nitride layer. The highest hardness at a nitriding temperature of 450 °C reached 625.3 VHN. The findings showed that the corrosion rate decreased significantly, reaching the lowest value, 0.0018 mm/year, at a plasma nitriding temperature of 450 °C. Plasma nitriding could enhance the physical and mechanical properties of Fe-Cr-Mn alloy.

Keywords: plasma nitriding, Fe-13.8Cr-8.9Mn alloy, biomaterials, surface hardness, corrosion resistance, bone implant.

References

- Bandyopadhyay, A., Mitra, I., Goodman, S. B., Kumar, M., Bose, S. (2023). Improving biocompatibility for next generation of metallic implants. *Progress in Materials Science*, 133, 101053. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101053>
- Szczęsny, G., Kopec, M., Politis, D. J., Kowalewski, Z. L., Łazarski, A., Szolc, T. (2022). A Review on Biomaterials for Orthopaedic Surgery and Traumatology: From Past to Present. *Materials*, 15 (10), 3622. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15103622>
- Zhang, L., Yang, G., Johnson, B. N., Jia, X. (2019). Three-dimensional (3D) printed scaffold and material selection for bone repair. *Acta Biomaterialia*, 84, 16–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.11.039>
- Zhao, C., Liu, W., Zhu, M., Wu, C., Zhu, Y. (2022). Bioceramic-based scaffolds with antibacterial function for bone tissue engineering: A review. *Bioactive Materials*, 18, 383–398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.02.010>
- Ma, H., Feng, C., Chang, J., Wu, C. (2018). 3D-printed bioceramic scaffolds: From bone tissue engineering to tumor therapy. *Acta Biomaterialia*, 79, 37–59. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.08.026>
- Prestat, M., Thierry, D. (2021). Corrosion of titanium under simulated inflammation conditions: clinical context and in vitro investigations. *Acta Biomaterialia*, 136, 72–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.10.002>
- Armiento, A. R., Hatt, L. P., Sanchez Rosenberg, G., Thompson, K., Stoddart, M. J. (2020). Functional Biomaterials for Bone Regeneration: A Lesson in Complex Biology. *Advanced Functional Materials*, 30 (44). doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.201909874>
- Wang, X., Rivera-Bolanos, N., Jiang, B., Ameer, G. A. (2019). Advanced Functional Biomaterials for Stem Cell Delivery in Regenerative Engineering and Medicine. *Advanced Functional Materials*, 29 (23). doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.201809009>
- Park, J., Lee, S. J., Jung, T. G., Lee, J. H., Kim, W. D., Lee, J. Y., Park, S. A. (2021). Surface modification of a three-dimensional polycaprolactone scaffold by polydopamine, biomineralization, and BMP-2 immobilization for potential bone tissue applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 199, 111528. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111528>
- Wang, X., Xue, J., Ma, B., Wu, J., Chang, J., Gelinsky, M., Wu, C. (2020). Black Bioceramics: Combining Regeneration with Therapy. *Advanced Materials*, 32 (48). doi: <https://doi.org/10.1002/adma.202005140>
- Sheng, X., Li, C., Wang, Z., Xu, Y., Sun, Y., Zhang, W. et al. (2023). Advanced applications of strontium-containing biomaterials in bone tissue engineering. *Materials Today Bio*, 20, 100636. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2023.100636>
- Huang, D., Wang, J., Ren, K., Ji, J. (2020). Functionalized biomaterials to combat biofilms. *Biomaterials Science*, 8 (15), 4052–4066. doi: <https://doi.org/10.1039/d0bm00526f>
- Wei, H., Cui, J., Lin, K., Xie, J., Wang, X. (2022). Recent advances in smart stimuli-responsive biomaterials for bone therapeutics and regeneration. *Bone Research*, 10 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41413-021-00180-y>
- Lee, S., Lee, J., Byun, H., Kim, S., Joo, J., Park, H. H., shin, H. (2021). Evaluation of the anti-oxidative and ROS scavenging properties of biomaterials coated with epigallocatechin gallate for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 124, 166–178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.02.005>

15. Abdalla, S. S. I., Katas, H., Azmi, F., Busra, M. F. M. (2020). Anti-bacterial and Anti-Biofilm Biosynthesised Silver and Gold Nanoparticles for Medical Applications: Mechanism of Action, Toxicity and Current Status. *Current Drug Delivery*, 17 (2), 88–100. doi: <https://doi.org/10.2174/1567201817666191227094334>
16. Jia, P., Wang, Z., Zhang, Y., Zhang, D., Gao, W., Su, Y. et al. (2020). Selective sensing of Fe³⁺ ions in aqueous solution by a biodegradable platform based lanthanide metal organic framework. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 230, 118084. doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118084>
17. Gorejová, R., Haverová, L., Oriňáková, R., Oriňák, A., Oriňák, M. (2018). Recent advancements in Fe-based biodegradable materials for bone repair. *Journal of Materials Science*, 54 (3), 1913–1947. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-018-3011-z>
18. Carluccio, D., Xu, C., Venezuela, J., Cao, Y., Kent, D., Bermingham, M. et al. (2020). Additively manufactured iron-manganese for biodegradable porous load-bearing bone scaffold applications. *Acta Biomaterialia*, 103, 346–360. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.12.018>
19. Xu, M., Kang, S., Lu, J., Yan, X., Chen, T., Wang, Z. (2020). Properties of a Plasma-Nitrided Coating and a CrNx Coating on the Stainless Steel Bipolar Plate of PEMFC. *Coatings*, 10 (2), 183. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings10020183>
20. Al-Shalawi, F. D., Mohamed Ariff, A. H., Jung, D.-W., Mohd Ariffin, M. K. A., Seng Kim, C. L., Brabazon, D., Al-Osaimi, M. O. (2023). Biomaterials as Implants in the Orthopedic Field for Regenerative Medicine: Metal versus Synthetic Polymers. *Polymers*, 15 (12), 2601. doi: <https://doi.org/10.3390/polym15122601>
21. Wang, D., Chen, C., Ma, J., Lei, T. (2007). Microstructure of yttrium calcium phosphate bioceramic coatings synthesized by laser cladding. *Applied Surface Science*, 253 (8), 4016–4020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.08.036>
22. Chien, C. S., Liu, C. W., Kuo, T. Y., Wu, C. C., Hong, T. F. (2016). Bioactivity of fluorapatite/alumina composite coatings deposited on Ti₆Al₄V substrates by laser cladding. *Applied Physics A*, 122 (4). doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9788-1>
23. De Angelis, F., Sarteur, N., Buonvivere, M., Vadini, M., Štefl, M., D'Arcangelo, C. (2022). Meta-analytical analysis on components released from resin-based dental materials. *Clinical Oral Investigations*, 26 (10), 6015–6041. doi: <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04625-4>
24. Ritchie, R. O. (2021). Toughening materials: enhancing resistance to fracture. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379 (2203), 20200437. doi: <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0437>
25. Katti, K. S. (2004). Biomaterials in total joint replacement. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 39 (3), 133–142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2003.12.002>
26. Yang, K., Ren, Y. (2010). Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 11 (1), 014105. doi: <https://doi.org/10.1088/1468-6996/11/1/014105>
27. Hryniewicz, T., Rokosz, K., Filippi, M. (2009). Biomaterial Studies on AISI 316L Stainless Steel after Magneto-electropolishing. *Materials*, 2 (1), 129–145. doi: <https://doi.org/10.3390/ma2010129>
28. Kraus, T., Moszner, E., Fischerauer, S., Fiedler, M., Martinelli, E., Eichler, J. et al. (2014). Biodegradable Fe-based alloys for use in osteosynthesis: Outcome of an in vivo study after 52 weeks. *Acta Biomaterialia*, 10 (7), 3346–3353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.04.007>
29. Zhang, J., Zhai, B., Gao, J., Li, Z., Zheng, Y., Ma, M. et al. (2022). Plain metallic biomaterials: opportunities and challenges. *Regenerative Biomaterials*, 10. doi: <https://doi.org/10.1093/rb/rbac093>
30. Shanina, B. D., Gavriljuk, V. G., Berns, H. (2007). High Strength Stainless Austenitic CrMnN steels - Part III: Electronic Properties. *Steel Research International*, 78 (9), 724–728. doi: <https://doi.org/10.1002/srin.200706276>
31. Lee, T.-H., Ha, H.-Y., Hwang, B., Kim, S.-J., Shin, E. (2012). Effect of Carbon Fraction on Stacking Fault Energy of Austenitic Stainless Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 43 (12), 4455–4459. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-012-1423-y>
32. Ha, H. Y., Lee, T. H., Oh, C. S., Kim, S. J. (2009). Effects of Carbon on the Corrosion Behaviour in Fe-18Cr-10Mn-N-C Stainless Steels. *Steel Research International*, 80 (7), 488–492. doi: <https://doi.org/10.2374/SRI09SP032>
33. Gavriljuk, V. G., Shanina, B. D., Berns, H. (2008). A physical concept for alloying steels with carbon+nitrogen. *Materials Science and Engineering: A*, 481–482, 707–712. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.11.186>
34. Kang, J., Zhang, F. C., Long, X. Y., Yang, Z. N. (2014). Synergistic enhancing effect of N+C alloying on cyclic deformation behaviors in austenitic steel. *Materials Science and Engineering: A*, 610, 427–435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.05.052>
35. Uggowitzer, P. J., Magdowski, R., Speidel, M. O. (1996). High Nitrogen Steels. Nickel Free High Nitrogen Austenitic Steels. *ISIJ International*, 36 (7), 901–908. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.36.901>
36. Talha, M., Ma, Y., Lin, Y., Pan, Y., Kong, X., Sinha, O. P., Behera, C. K. (2019). Corrosion performance of cold deformed austenitic stainless steels for biomedical applications. *Corrosion Reviews*, 37 (4), 283–306. doi: <https://doi.org/10.1515/correv-2019-0004>
37. Gurappa, I. (2002). Characterization of different materials for corrosion resistance under simulated body fluid conditions. *Materials Characterization*, 49 (1), 73–79. doi: [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(02\)00320-0](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(02)00320-0)
38. Chua, K., Khan, I., Malhotra, R., Zhu, D. (2021). Additive manufacturing and 3D printing of metallic biomaterials. *Engineered Regeneration*, 2, 288–299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2021.11.002>
39. Eliaz, N. (2019). Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review. *Materials*, 12 (3), 407. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12030407>
40. Menthe, E., Bulak, A., Olfe, J., Zimmermann, A., Rie, K.-T. (2000). Improvement of the mechanical properties of austenitic stainless steel after plasma nitriding. *Surface and Coatings Technology*, 133-134, 259–263. doi: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)00930-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(00)00930-0)
41. Kartikasari, R., Effendy, M. (2021). Surface characterization of Fe–10Al–25Mn alloy for biomaterial applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 409–415. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.006>
42. Menthe, E., Rie, K.-T. (1999). Further investigation of the structure and properties of austenitic stainless steel after plasma nitriding. *Surface and Coatings Technology*, 116–119, 199–204. doi: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00085-7](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00085-7)
43. Behjati, P., Kermanpur, A., Najafzadeh, A., Samaei Baghbadorani, H., Karjalainen, L. P., Jung, J.-G., Lee, Y.-K. (2014). Effect of Nitrogen Content on Grain Refinement and Mechanical Properties of a Reversion-Treated Ni-Free 18Cr-12Mn Austenitic Stainless Steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45 (13), 6317–6328. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-014-2595-4>
44. Adachi, S., Ueda, N. (2012). Formation of S-phase layer on plasma sprayed AISI 316L stainless steel coating by plasma nitriding at low temperature. *Thin Solid Films*, 523, 11–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2012.05.062>

45. Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T. (2016). Low temperature nitriding of AISI 300 and 200 series austenitic stainless steels. *Vacuum*, 127, 51–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.02.009>
46. Kim, T., See, C. W., Li, X., Zhu, D. (2020). Orthopedic implants and devices for bone fractures and defects: Past, present and perspective. *Engineered Regeneration*, 1, 6–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2020.05.003>
47. Kumar, C. S., Singh, G., Poddar, S., Varshney, N., Mahto, S. K., Podder, A. S. et al. (2021). High-manganese and nitrogen stabilized austenitic stainless steel (Fe–18Cr–22Mn–0.65N): a material with a bright future for orthopedic implant devices. *Biomedical Materials*, 16 (6), 065011. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-605x/ac265e>
48. Yang, F., Song, R., Li, Y., Sun, T., Wang, K. (2015). Tensile deformation of low density duplex Fe–Mn–Al–C steel. *Materials & Design*, 76, 32–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.043>
49. Godec, M., Donik, Č., Kocijan, A., Podgornik, B., Skobir Balantič, D. A. (2020). Effect of post-treated low-temperature plasma nitriding on the wear and corrosion resistance of 316L stainless steel manufactured by laser powder-bed fusion. *Additive Manufacturing*, 32, 101000. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.101000>
50. Li, X. Y. (2001). Joint Second Prize Low Temperature Plasma Nitriding of 316 Stainless Steel – Nature of S Phase and Its Thermal Stability. *Surface Engineering*, 17 (2), 147–152. doi: <https://doi.org/10.1179/026708401101517746>
51. Gontijo, L. C., Machado, R., Miola, E. J., Casteletti, L. C., Alcântara, N. G., Nascente, P. A. P. (2006). Study of the S phase formed on plasma-nitrided AISI 316L stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 431 (1-2), 315–321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.06.023>
52. Christiansen, T. L., Hummelshøj, T. S., Somers, M. A. J. (2010). Expanded austenite, crystallography and residual stress. *Surface Engineering*, 26 (4), 242–247. doi: <https://doi.org/10.1179/026708410x12506870724316>
53. Kartikasari, R., Subardi, A., Wijaya, A. E. (2021). Development of Fe-11Al-xMn alloy steel on cryogenic temperatures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (113)), 60–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243236>
54. Zhou, R., Northwood, D. O., Liu, C. (2020). On nitrogen diffusion during solution treatment in a high nitrogen austenitic stainless steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (2), 2331–2337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.064>

DOI: [10.15587/1729-4061.2023.288224](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288224)

DEVELOPING THE OPTIMAL CHEMICAL COMPOSITION OF HEAT-RESISTANT CR-NI STEEL FOR AEROSPACE EQUIPMENT (p. 16–21)

Valeriy Mishchenko

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0992-478X>

Alona Kripak

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3415-1272>

Dmytro Tonkonoh

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2642-5333>

The object of research in this work is the processes of forming the microstructure and mechanical properties of heat-resistant steels depending on their chemical composition.

The microstructure and high-temperature mechanical properties of austenitic heat-resistant chrome-nickel steels of the proposed chemical composition were investigated in the work. The microstructure study determined the grain size and topography of inclusions in steels. Based on the results of mechanical tests, a multifactorial experiment was planned, which made it possible to establish the relationship between the mechanical properties of steels with alloying elements selected as factors. The obtained regression equations were used to estimate the quantitative influence of each alloying element on the corresponding mechanical properties.

Analysis of the results of the experiment made it possible to determine the optimal chemical composition of steel for gas turbine engines used in the aerospace industry, as well as in the metallurgy of titanium production.

It is shown that the state of solid solution and heat-resistant niobium and molybdenum carbides (chromium carbides dissolve at a temperature of 950 °C) are an important factor that significantly affects the structure, mechanical, and service properties of heat-resistant steel. The austenite structure is provided by the required amount of nickel.

The resulting indicators of heat resistance of steels of different compositions, tested at temperatures of 850 °C, 950 °C, and 1050 °C, proved the superiority of steel with a higher content of carbon and chromium and a lower content of nickel.

The mechanism of steel strengthening and the influence of alloying with carbon, chromium, and nickel on it have been determined. The optimal chemical composition of heat-resistant steel on an iron-nickel basis for operation at a temperature of 950 °C has been established.

Keywords: austenitic heat-resistant chrome-nickel steel, alloying elements, microstructure, carbides, mechanical properties, regression analysis.

References

1. Collins, D. A., Carter, E. L., Lach, T. G., Byun, T. S. (2022). A comprehensive study of the effects of long-term thermal aging on the fracture resistance of cast austenitic stainless steels. *Nuclear Engineering and Technology*, 54 (2), 709–731. doi: <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.08.022>
2. Roussel, M., Sauvage, X., Perez, M., Magné, D., Hauet, A., Steckmeyer, A. et al. (2018). Influence of solidification induced composition gradients on carbide precipitation in FeNiCr heat resistant steels. *Materialia*, 4, 331–339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2018.10.010>
3. Zhou, Y., Liu, Y., Zhou, X., Liu, C., Yu, J., Huang, Y. et al. (2017). Precipitation and hot deformation behavior of austenitic heat-resistant steels: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 33 (12), 1448–1456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2017.01.025>
4. Ligabo, I. A., Braga, V., Ferreira, C. C. A., Siqueira, R. H. M., Lourenço, J. C., Abdalla, A. J., Lima, M. S. F. (2022). Microstructure and Corrosion Behavior of AISI 316 Steel Layers Deposited on AISI 347 Steel Substrate by Laser Metal Deposition. *Metals*, 12 (12), 2161. doi: <https://doi.org/10.3390/met12122161>
5. Shelyagin, V. D., Bernatskiy, A. V., Siora, O. V., Kurilo, V. A., Suchek, O. M. (2020). Development of remotely-controlled equipment and technology for laser welding and restoration of performance of NPS steam generators. *Automatic Welding*, 2020 (12), 30–36. doi: <https://doi.org/10.37434/as2020.12.04>
6. Nesterenko, S. (2020). Corrosion resistance of new austenitic-ferritic steels in aggressive environments by-product coke plants.

- XV Mizhnarodna konferentsiya «Problemy korozii ta protykoroziiho zakhystu konstruktivnykh materialiv». Lviv, 337–341. Available at: https://www.ipm.lviv.ua/corrosion2020/Chapter_05/XII_337_%20NESTERENKO.pdf
7. Mishchenko, V., Byelikov, S., Klimov, O., Kripak, A., Tonkonoh, D., Kornienko, V., Kharchenko, A. (2023). Creation of special construction material using the rolling method of asymmetrical packages for dual-purpose products. *New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering*, 2, 32–37. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-2-5>
 8. Mishchenko, V., Loskutov, S., Kripak, A. (2022). Determining the thermoplastic deformation mechanism of titanium reduction reactors and recommendations to increase the reactor service life. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 14–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265577>
 9. Novik, F. S., Arsov, YA. B. (1980). *Optimizatsiya protsessov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov*. Moscow: Mashinostroenie; Sofiya: Tekhnika, 304.
 10. Adler, Yu. P., Markova, E. V., Granovskiy, Yu. V. (1976). *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy*. Moscow: Nauka, 280.
 11. Sroka, M., Zieliński, A., Golański, G., Kremzer, M. (2019). The Influence of Long-term Ageing on the Microstructure of Sanicro 25 Steel. *MATEC Web of Conferences*, 253, 03004. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925303004>
 12. Zhou, Q., Ping, S., Meng, X., Wang, R., Gao, Y. (2017). Precipitation Kinetics of M23C6 Carbides in the Super304H Austenitic Heat-Resistant Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26 (12), 6130–6139. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-017-2982-2>
 13. Dhivyasri, G., Sudha, R. (2018). Optimization of AISI 316 materials mechanical properties for CMT application. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 9 (11), 1269–1279. Available at: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_9_IS-SUE_11/IJMET_09_11_131.pdf
 14. Desu, R. K., Nitin Krishnamurthy, H., Balu, A., Gupta, A. K., Singh, S. K. (2016). Mechanical properties of Austenitic Stainless Steel 304L and 316L at elevated temperatures. *Journal of Materials Research and Technology*, 5 (1), 13–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.04.001>
 15. Mishchenko, V. (2003). Metallurgical aspects of the production of chromium-nickel steels with low carbon contents. *Foundry Journal of Polish Foundrymen's Technical Association*, 3, 326–329.
 16. Gayduk, S., Kononov, V. (2017). Structural stability parameters forecast for high-temperature nickel-base cast alloys. *Herald of Aero-enginebuilding*, 1, 139–148. Available at: <http://vd.zntu.edu.ua/article/view/114102>
 17. Wärner, H., Calmunger, M., Chai, G., Johansson, S., Moverare, J. (2019). Thermomechanical fatigue behaviour of aged heat resistant austenitic alloys. *International Journal of Fatigue*, 127, 509–521. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.06.012>
 18. Drápala, J., Kostiuková, G., Losertová, M. (2018). Influence of heat treatment on microstructure and mechanical properties of SUS 316L alloy. *METAL 2018 - 27th International Conference on Metallurgy and Materials*. Brno, 1527–1532. Available at: <https://www.confer.cz/metal/2018/read/1305-influence-of-heat-treatment-on-microstructure-and-mechanical-properties-of-sus-316l-alloy.pdf>
 19. Zhou, Y., Li, Y., Liu, Y., Guo, Q., Liu, C., Yu, L. et al. (2015). Precipitation behavior of type 347H heat-resistant austenitic steel during long-term high-temperature aging. *Journal of Materials*

Research, 30 (23), 3642–3652. doi: <https://doi.org/10.1557/jmr.2015.343>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291785
DETERMINING FEATURES IN THE WEAR RESISTANCE CHARACTERISTICS OF TRIBOCOMPOUNDS WITH A TEXTURED HOLE SURFACE UNDER CONDITIONS OF BOUNDARY FRICTION (p. 22–29)

Volodymyr Marchuk

National Aviation University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0140-5416>

Myroslav Kindrachuk

National Aviation University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>

Oleh Harmash

National Aviation University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4324-4411>

Volodymyr Kharchenko

National Aviation University, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>

The influence of surface texture in the form of pits on the wear resistance of tribocompounds under conditions of limit friction was investigated. At the first stage of research, the mechanism of lubricant behavior between the contacting surfaces and inside the holes was modeled. The limiting condition of the rotation frequency of the sample ($n > 27$) was established, under which a drop of lubricant “leaves” the hole in the upper position of the sample and remains in the space between the sample and the surface of the counterbody, ensuring the regeneration of the boundary lubricating film on the surface of the tribocontact when it is destroyed. When the rotation frequency of the sample is reduced ($n < 27$), the lubricant droplet remains in the hole and does not affect the processes of the boundary lubricant film. At the second stage, experimental studies of tribocombinations with a textured hole surface under conditions of extreme friction were carried out. It was established that the high wear resistance of the textured hole surfaces is provided by the high protective effect of the texture, as well as the high efficiency of the marginal lubricating film. It has been proven that the strengthening of the surface texture by the method of ion-plasma thermocyclic nitriding additionally increases the wear resistance by 1.7 times due to the high protective effect of surface nitrided layers and their high hardness (up to 9500 MPa). This strengthens the effect of inhibiting the occurrence of defects in the surface layers of tribocontact, ensures a high rate of wetting of the places of actual contact of triboconnections, and speeds up the process of regeneration of the boundary lubricating film. Research results can be used to modify the surface layer of heavily loaded parts operating under extreme operating conditions with limited supply of lubricant under various types of friction and wear.

Keywords: wear resistance, coefficient of friction, textured surface, hole, boundary friction, regeneration of lubricating film, lubricant droplet, mathematical model.

References

1. Ibatan, T., Uddin, M. S., Chowdhury, M. A. K. (2015). Recent development on surface texturing in enhancing tribological performance

- of bearing sliders. *Surface and Coatings Technology*, 272, 102–120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.017>
2. Hamilton, D. B., Walowit, J. A., Allen, C. M. (1966). A Theory of Lubrication by Microirregularities. *Journal of Basic Engineering*, 88 (1), 177–185. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3645799>
 3. Zhang, J., Meng, Y. (2012). Direct Observation of Cavitation Phenomenon and Hydrodynamic Lubrication Analysis of Textured Surfaces. *Tribology Letters*, 46 (2), 147–158. doi: <https://doi.org/10.1007/s11249-012-9935-6>
 4. Cupillard, S., Glavatskih, S., Cervantes, M. J. (2010). Inertia effects in textured hydrodynamic contacts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 224 (8), 751–756. doi: <https://doi.org/10.1243/13506501jet697>
 5. Fowell, M., Olver, A. V., Gosman, A. D., Spikes, H. A., Pegg, I. (2006). Entrainment and Inlet Suction: Two Mechanisms of Hydrodynamic Lubrication in Textured Bearings. *Journal of Tribology*, 129 (2), 336–347. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2540089>
 6. Filgueira Filho, I. C. M., Bottene, A. C., Silva, E. J., Nicoletti, R. (2021). Static behavior of plain journal bearings with textured journal - Experimental analysis. *Tribology International*, 159, 106970. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.106970>
 7. Liu, W., Ni, H., Chen, H., Wang, P. (2019). Numerical simulation and experimental investigation on tribological performance of micro-dimples textured surface under hydrodynamic lubrication. *International Journal of Mechanical Sciences*, 163, 105095. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105095>
 8. Etsion, I. (2004). Improving Tribological Performance of Mechanical Components by Laser Surface Texturing. *Tribology Letters*, 17 (4), 733–737. doi: <https://doi.org/10.1007/s11249-004-8081-1>
 9. Guo, Q., Zheng, L., Zhong, Y., Wang, S., Ren, L. (2022). Numerical simulation of hydrodynamic lubrication performance for continuous groove-textured surface. *Tribology International*, 167, 107411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107411>
 10. Shen, Z., Wang, E., Chen, Z., Ruan, X., Zeng, H., Wang, J. et al. (2021). Numerical simulation of lubrication performance on chevron textured surface under hydrodynamic lubrication. *Tribology International*, 154, 106704. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106704>
 11. Shen, C., Khonsari, M. M. (2015). Numerical optimization of texture shape for parallel surfaces under unidirectional and bidirectional sliding. *Tribology International*, 82, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2014.09.022>
 12. Rom, M., Müller, S. (2018). An effective Navier-Stokes model for the simulation of textured surface lubrication. *Tribology International*, 124, 247–258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.04.011>
 13. Marchuk, V., Kindrachuk, M., Tisov, O., Kornienko, A., Radko, O., Kharchenko, V. (2019). Stress-strained state of textured surfaces with selectively indented regions. *Functional Materials*, 26 (4), 773–778. doi: <https://doi.org/10.15407/fm26.04.773>
 14. Tsyban'ov, G. V., Marchuk, V. E., Mikosyanchyk, O. O. (2019). Effect of Textured Dentated Surfaces on 30KhGSA Steel Damage and Life at Fatigue, Fretting Fatigue, and Fretting. *Strength of Materials*, 51 (3), 341–349. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00080-x>
 15. Marchuk, V., Kindrachuk, M., Krysak, Ya., Tisov, O., Dukhota, O., Gradiskiy, Y. (2021). The Mathematical Model of Motion Trajectory of Wear Particle Between Textured Surfaces. *Tribology in Industry*, 43 (2), 241–246. doi: <https://doi.org/10.24874/ti.1001.11.20.03>
 16. Marchuk, V. Ye., Kindrachuk, M. V., Mirnenko, V. I., Mnat-sakanov, R. G., Kornienko, A. O., Bashta, O. V., Fedorchuk, S. V.

(2019). Physical Interpretations of Internal Magnetic Field Influence on Processes in Tribocontact of Textured Dimple Surfaces. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 11 (5), 05013-1-05013–05015. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.11\(5\).05013](https://doi.org/10.21272/jnep.11(5).05013)

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291064

DEVELOPMENT OF BARIUM HEXAFERRITE CORE-SHELL COMPOSITES AS HIGH-PERFORMANCE MICROWAVE ABSORPTION BY OPTIMIZING HYDROTHERMAL SYNTHESIS (p. 30–42)

Erlina Yustanti

Sultan Ageng Tirtayasa University, Banten, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3087-1387>

Alfian Noviyanto

Nano Center Indonesia, Setu, Indonesia
Mercu Buana University, Kebun Jeruk, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6371-6765>

Annisa Nur Fauziah

Sultan Ageng Tirtayasa University, Banten, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3336-5847>

Bachtiar Lubis

Sultan Ageng Tirtayasa University, Banten, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3203-2662>

Adhitya Trenggono

Sultan Ageng Tirtayasa University, Banten, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1945-8233>

Ahmad Taufiq

Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0155-6495>

In conjunction with the enhancement of societal living standards and the rapid development of information technology, an extensive variety of high-capacity electronic devices are being introduced to the market. The heightened demands result in the generation of electromagnetic wave radiation, which poses a potential risk to human well-being. Barium hexaferrite (BHF) is one of the radar-absorbing materials (RAMs) that can absorb electromagnetic waves because it has a high anisotropic field. However, its drawbacks are narrow absorption and less stability. Molybdenum disulfide (MoS_2), is the best candidate for the reinforcement of BHF. The study investigated the impact of increasing the thiourea, temperature, hydrothermal holding time, and sample thickness on reflection loss. This study used a two-step molten salt and hydrothermal synthesis to make a $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{MoS}_2$ core-cell composite. Two-step molten salt and hydrothermal synthesis methods created single-phase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{MoS}_2$ core-cell composites that worked well. The results showed that adding MoS_2 to BHF changed BHF's magnetic properties from hard to soft. Increasing the hydrothermal temperature up to 220°C effectively reduced the reflection loss of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{MoS}_2$. On a 2 mm thick sample containing 100 mmol thiourea, the study achieved an electromagnetic wave absorption of 99.97 % with a reflection loss of -35.41 dB (17.37 GHz). The results of this research can be applied to protect electronic devices vulnerable to signal interference from satellite radar systems at frequencies of 12–18 GHz.

Keywords: barium hexaferrite, core-shell composite, hydrothermal, molybdenum disulfide, radar absorber material, reflection loss.

References

- Asghar, G., Asri, S., Khusro, S. N., Tariq, G. H., Awan, M. S., Irshad, M., Safeen, A. et al. (2020). Enhanced Magnetic Properties of Barium Hexaferrite. *Journal of Electronic Materials*, 49 (7), 4318–4323. doi: <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08125-7>
- Hema, S., Sambhudevan, S. (2021). Ferrite-based polymer nanocomposites as shielding materials: a review. *Chemical Papers*, 75 (8), 3697–3710. doi: <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01664-1>
- Nikmanesh, H., Hoghoghifard, S., Hadi-Sichani, B., Moradi, M. (2020). Erbium-chromium substituted strontium hexaferrite particles: Characterization of the physical and Ku-band microwave absorption properties. *Materials Science and Engineering: B*, 262, 114796. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114796>
- Yustanti, E., Trenggono, A., Manaf, A. (2020). Physical and Microwave Absorption Characteristics of High Powered Ultrasonically Irradiated Crystalline BaFe₉Mn_{1.5}Ti_{1.5}O₁₉ Particles. *International Journal of Technology*, 11 (2), 310. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i2.2988>
- Feng, G., Zhou, W., Deng, H., Chen, D., Qing, Y., Wang, C. et al. (2019). Co substituted BaFe₁₂O₁₉ ceramics with enhanced magnetic resonance behavior and microwave absorption properties in 2.6–18 GHz. *Ceramics International*, 45 (11), 13859–13864. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.04.083>
- Yang, E., Qi, X., Xie, R., Bai, Z., Jiang, Y., Qin, S. et al. (2018). Core@shell@shell structured carbon-based magnetic ternary nanohybrids: Synthesis and their enhanced microwave absorption properties. *Applied Surface Science*, 441, 780–790. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.02.029>
- Wang, M., Lin, Y., Yang, H., Qiu, Y., Wang, S. (2020). A novel plate-like BaFe₁₂O₁₉@MoS₂ core-shell structure composite with excellent microwave absorbing properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 817, 153265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153265>
- Rianna, M., Sembiring, T., Situmorang, M., Kurniawan, C., Tetuko, A. P., Setiadi, E. A. et al. (2019). Effect of calcination temperature on Microstructures, magnetic properties, and microwave absorption on BaFe_{11.6}Mg_{0.2}Al_{0.2}O₁₉ synthesized from natural iron sand. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100393>
- Zhang, Y., Gao, S., Xing, H. (2019). Hierarchical core-shell Fe₃O₄@C@MoS₂ composites synergistically enhance microwave absorption. *Materials Letters*, 246, 80–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.03.031>
- Wang, P., Zhang, J., Wang, G., Duan, B., He, D., Wang, T., Li, F. (2019). Synthesis and characterization of MoS₂/Fe@Fe₃O₄ nanocomposites exhibiting enhanced microwave absorption performance at normal and oblique incidences. *Journal of Materials Science & Technology*, 35 (9), 1931–1939. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.05.021>
- Zhang, D., Chai, J., Cheng, J., Jia, Y., Yang, X., Wang, H. et al. (2018). Highly efficient microwave absorption properties and broadened absorption bandwidth of MoS₂-iron oxide hybrids and MoS₂-based reduced graphene oxide hybrids with Hetero-structures. *Applied Surface Science*, 462, 872–882. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.152>
- Almessiere, M. A., Slimani, Y., Korkmaz, A. D., Baykal, A., Güngüneş, H., Sözeri, H. et al. (2019). Impact of La³⁺ and Y³⁺ ion substitutions on structural, magnetic and microwave properties of Ni_{0.3}Cu_{0.3}Zn_{0.4}Fe₂O₄ nanospinel ferrites synthesized via sonochemical route. *RSC Advances*, 9 (53), 30671–30684. doi: <https://doi.org/10.1039/c9ra06353f>
- Huang, W., Tong, Z., Bi, Y., Ma, M., Liao, Z., Wu, G. et al. (2021). Synthesis and microwave absorption properties of coralloid core-shell structure NiS/Ni₃S₄@PPy@MoS₂ nanowires. *Journal of Colloid and Interface Science*, 599, 262–270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.04.107>
- Yang, H., Zhang, X., Xiong, Z., Shen, Z., Liu, C., Xie, Y. (2021). Cu₂O@nanoporous carbon composites derived from Cu-based MOFs with ultrabroad-bandwidth electromagnetic wave absorbing performance. *Ceramics International*, 47 (2), 2155–2164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.09.053>
- Dai, B., Ma, Y., Dong, F., Yu, J., Ma, M., Thabet, H. K. et al. (2022). Overview of MXene and conducting polymer matrix composites for electromagnetic wave absorption. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 5 (2), 704–754. doi: <https://doi.org/10.1007/s42114-022-00510-6>
- Karim Darboe, A., Qi, X., Gong, X., Peng, Q., Chen, Y., Xie, R. et al. (2022). Constructing MoSe₂/MoS₂ and MoS₂/MoSe₂ inner and outer-interchangeable flower-like heterojunctions: A combined strategy of interface polarization and morphology configuration to optimize microwave absorption performance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 624, 204–218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.05.078>
- Chang, M., Jia, Z., Wu, G., Yin, P. (2023). Multiple dimension-component designed Co/Co₉S₈/Ti₃C₂Tx MXene composite for enhanced microwave absorption. *Applied Physics Letters*, 122 (13). doi: <https://doi.org/10.1063/5.0142497>
- Hou, T., Wang, J., Zheng, T., Liu, Y., Wu, G., Yin, P. (2023). Anion Exchange of Metal Particles on Carbon-Based Skeletons for Promoting Dielectric Equilibrium and High-Efficiency Electromagnetic Wave Absorption. *Small*, 19 (42). doi: <https://doi.org/10.1002/sml.202303463>
- Zheng, T., Zhang, Y., Jia, Z., Zhu, J., Wu, G., Yin, P. (2023). Customized dielectric-magnetic balance enhanced electromagnetic wave absorption performance in Cu_xS/CoFe₂O₄ composites. *Chemical Engineering Journal*, 457, 140876. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140876>
- Wang, S., Gao, H., Sun, G., Zhang, J., Xia, Y., Xie, C. et al. (2020). M-type Barium Hexaferrite Nanoparticles Synthesized by γ -Ray Irradiation Assisted Polyacrylamide Gel Method and Its Optical, Magnetic and Supercapacitive Performances. *Journal of Cluster Science*, 32 (3), 569–578. doi: <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01815-6>
- Maswadeh, Y., Mahmood, S. H., Awadallah, A., Aloqaily, A. N. (2015). Synthesis and structural characterization of nonstoichiometric barium hexaferrite materials with Fe:Ba ratio of 11.5 – 16.16. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 92, 012019. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/92/1/012019>
- Quilty, C. D., Housel, L. M., Bock, D. C., Dunkin, M. R., Wang, L., Lutz, D. M. et al. (2019). Ex Situ and Operando XRD and XAS Analysis of MoS₂: A Lithiation Study of Bulk and Nanosheet Materials. *ACS Applied Energy Materials*, 2 (10), 7635–7646. doi: <https://doi.org/10.1021/acsae.9b01538>
- Albiter, M. A., Huirache-Acuña, R., Paraguay-Delgado, F., Rico, J. L., Alonso-Núñez, G. (2006). Synthesis of MoS₂ nanorods and their catalytic test in the HDS of dibenzothiophene. *Nanotechnology*, 17 (14), 3473–3481. doi: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/14/020>
- Sulaiman, N. I., Abu Bakar, M., Abu Bakar, N. H. H., Saito, N., Thai, V.-P. (2023). Modified sol-gel method for synthesis and structure characterisation of ternary and quaternary ferrite-based oxides for thermogravimetrically carbon dioxide adsorption. *Chemical Papers*, 77 (6), 3051–3074. doi: <https://doi.org/10.1007/s11696-023-02687-6>

25. Hu, F., Nan, H., Wang, M., Lin, Y., Yang, H., Qiu, Y., Wen, B. (2021). Construction of core-shell BaFe₁₂O₁₉@MnO₂ composite for effectively enhancing microwave absorption performance. *Ceramics International*, 47 (12), 16579–16587. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.229>
26. Lu, C.-H., Yeh, C.-H. (2000). Influence of hydrothermal conditions on the morphology and particle size of zinc oxide powder. *Ceramics International*, 26 (4), 351–357. doi: [https://doi.org/10.1016/s0272-8842\(99\)00063-2](https://doi.org/10.1016/s0272-8842(99)00063-2)
27. Goel, S., Garg, A., Gupta, R. K., Dubey, A., Prasad, N. E., Tyagi, S. (2020). Development of RGO/BaFe₁₂O₁₉-based composite medium for improved microwave absorption applications. *Applied Physics A*, 126 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-020-03613-3>
28. Alshoaibi, A. (2023). Investigating the Supercapacitive Performance of Cobalt Sulfide Nanostructures Prepared Using a Hydrothermal Method. *Materials*, 16 (13). doi: <https://doi.org/10.3390/ma16134512>
29. Li, W., Shi, E., Fukuda, T. (2003). Particle size of powders under hydrothermal conditions. *Crystal Research and Technology*, 38 (10), 847–858. doi: <https://doi.org/10.1002/crat.200310103>
30. Zhai, Y., Zhu, D., Zhou, W., Min, D., Luo, F. (2018). Enhanced impedance matching and microwave absorption properties of the MAMs by using ball-milled flaky carbonyl iron-BaFe₁₂O₁₉ as compound absorbent. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 467, 82–88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.07.031>
31. Ari Adi, W., Sarwanto, Y., Taryana, Y., Soegijono, B. (2018). Effects of the geometry factor on the reflection loss characteristics of the modified lanthanum manganite. *Journal of Physics: Conference Series*, 1091, 012028. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1091/1/012028>
32. Zhang, W., Zhang, X., Zhu, Q., Zheng, Y., Liotta, L. F., Wu, H. (2021). High-efficiency and wide-bandwidth microwave absorbers based on MoS₂-coated carbon fiber. *Journal of Colloid and Interface Science*, 586, 457–468. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.10.109>
33. Sun, Y., Zhong, W., Wang, Y., Xu, X., Wang, T., Wu, L., Du, Y. (2017). MoS₂-Based Mixed-Dimensional van der Waals Heterostructures: A New Platform for Excellent and Controllable Microwave-Absorption Performance. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9 (39), 34243–34255. doi: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b10114>
34. Hassan, A., Aslam, M. A., Bilal, M., Khan, M. S., ur Rehman, S., Ma, K. et al. (2021). Modulating dielectric loss of MoS₂@Ti₃C₂T_x nanoarchitectures for electromagnetic wave absorption with radar cross section reduction performance verified through simulations. *Ceramics International*, 47 (14), 20706–20716. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.04.014>
35. Negi, P., Kumar, A. (2021). MoS₂ nanoparticle/activated carbon composite as a dual-band material for absorbing microwaves. *Nanoscale Advances*, 3 (14), 4196–4206. doi: <https://doi.org/10.1039/d1na00292a>
36. Qu, B., Zhu, C., Li, C., Zhang, X., Chen, Y. (2016). Coupling Hollow Fe₃O₄-Fe Nanoparticles with Graphene Sheets for High-Performance Electromagnetic Wave Absorbing Material. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (6), 3730–3735. doi: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b12789>
37. Lin, Y., Liu, X., Ye, T., Yang, H., Wang, F., Liu, C. (2016). Synthesis and characterization of graphene/0.8BaFe₁₂O₁₉/0.2Y₃Fe₅O₁₂ nanocomposite. *Journal of Alloys and Compounds*, 683, 559–566. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.05.117>
38. Li, H., Zheng, L., Deng, D., Yi, X., Zhang, X., Luo, X. et al. (2021). Multiple natural resonances broaden microwave absorption bandwidth of substituted M-type hexaferrites. *Journal of Alloys and Compounds*, 862, 158638. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158638>
39. McComiskey, K. P. M., Tajber, L. (2018). Comparison of particle size methodology and assessment of nanoparticle tracking analysis (NTA) as a tool for live monitoring of crystallisation pathways. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 130, 314–326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.07.012>
40. Jose, N., Deshmukh, G. P., Ravindra, M. R. (2019). Dynamic Light Scattering: Advantages and Applications. *Acta Scientific Nutritional Health*, 3 (3), 50–52. Available at: <https://www.actascientific.com/ASNH/pdf/ASNH-03-0194.pdf>
41. Almessiere, M. A., Güner, S., Slimani, Y., Korkmaz, A. D., Baykal, A. (2022). Effect of Mo substitution on structure, morphology and magnetic features of Sr_{0.8}Ni_{0.2}Fe_{12-2x}Mo_xO₁₉ (x≤0.35) hexaferrites. *Chemical Papers*, 77 (2), 947–956. doi: <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02527-z>
42. Yustanti, E., Noviyanto, A., Ikramullah, M., Marsillam, Y. A., Taryana, Y., Taufiq, A. (2023). High-performance microwave absorption by optimizing hydrothermal synthesis of BaFe₁₂O₁₉@MnO₂ core-shell composites. *RSC Advances*, 13 (39), 27634–27647. doi: <https://doi.org/10.1039/d3ra05114e>
43. Liu, D., Liu, H., Ning, S., Chu, Y. (2020). Chrysanthemum-like high-entropy diboride nanoflowers: A new class of high-entropy nanomaterials. *Journal of Advanced Ceramics*, 9 (3), 339–348. doi: <https://doi.org/10.1007/s40145-020-0373-x>
44. Yin, P., Wu, G., Tang, Y., Liu, S., Zhang, Y., Bu, G. et al. (2022). Structure regulation in N-doping biconical carbon frame decorated with CoFe₂O₄ and (Fe,Ni) for broadband microwave absorption. *Chemical Engineering Journal*, 446, 136975. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136975>
45. Khan, M. Z., Gul, I. H., Javaid, F., Ali, A., Hafeez, S., Baig, M. M. (2023). Synthesis and Characterization of Zr⁴⁺-Y³⁺ Substituted Ba-Sr Hexaferrite Nanoparticles for Microwave Absorption and Electromagnetic Shielding Applications. *Materials Research Bulletin*, 168, 112468. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2023.112468>
46. Sparavigna, A. C. (2023). Iron Oxide Fe₃O₄ Nanoparticles with ICPs and Biochar to Improve Electromagnetic Shielding Performance. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4331866>
47. Luo, Y., Yin, P., Wu, G., Zhang, L., Ma, G., Wang, J. et al. (2022). Porous carbon sphere decorated with Co/Ni nanoparticles for strong and broadband electromagnetic dissipation. *Carbon*, 197, 389–399. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2022.06.084>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288025

THE FILAMENT WINDING METHOD'S FINISHING PROCESS IMPACT ON HIGH-FIDELITY SPECIMENS: HOMOGENITY OF DENSITY, FIBER VOLUME FRACTION, OUTER SURFACE ROUGHNESS AND TENSILE STRENGTH (p. 43–51)

Herry Purnomo

Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
National Research and Innovation Agency (BRIN),
Bogor, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1392-7468>

Tresna Priyana Soemardi

Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0605-1776>

Hendri D. S. Budiono

Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5407-8928>

Heri Budi Wibowo

National Research and Innovation Agency (BRIN),
Bogor, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-0231>

Mahfud Ibadi

National Research and Innovation Agency (BRIN),
Bogor, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1455-4482>

Filament winding is a widely used method for producing tubes and pressure vessels from composite materials. However, overlapping of fibers during the winding process can lead to rough surface and increased voids in the finished product. To improve the quality of CFRP materials produced through filament winding, the structure is cured either at room temperature or in an oven with a controlled heat profile, depending on the type of resin used. Various finishing techniques, including shrink tape, compression molding, and vacuum compression molding, have been attempted to improve the quality of the specimen. Among these techniques, vacuum compression molding has been found to deliver the best results in terms of surface roughness, with average roughness (Ra) values of 0.35 μm in the fiber direction and 0.61 μm in the transverse direction. This level of roughness is comparable to that achieved through milling machine manufacturing. Moreover, this technique ensures uniformity in fiber composition and volume fraction, achieving a homogeneous density of 1364.49 kg/m^3 and the highest fiber volume fraction of 63 %. As a result, remarkable mechanical attributes, such as a tensile strength of 926.07 MPa and a stiffness of 21.35 GPa, can be obtained. In addition, by utilizing various finishing techniques, the tensile strength of these properties can be increased by up to 80 %. CFRP is a versatile material with unique characteristics, and selecting appropriate finishing techniques such as vacuum compression molding can significantly enhance its overall quality and mechanical properties. However, one drawback of the filament winding method is the poor outer surface finish which can be improved by vacuum compression molding.

Keywords: filament winding, CFRP, surface roughness, fabrication, fiber fraction, Void, Tensile strength.

References

- Gay, D. (2014). *Composite materials: design and applications*. Boca Raton: CRC Press, 635. doi: <https://doi.org/10.1201/b17106>
- Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of composite materials*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. Available at: https://sarrami.iut.ac.ir/sites/sarrami.iut.ac.ir/files/files_course/01-mechanics_of_composite_materials_sbookfi.org_.pdf
- Quanjin, M., Rejab, M. R. M., Kaige, J., Idris, M. S., Harith, M. N. (2018). Filament winding technique, experiment and simulation analysis on tubular structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342 (1), 012029. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/342/1/012029>
- Sherif, G., Chukov, D., Tcherdyntsev, V., Torokhov, V. (2019). Effect of Formation Route on the Mechanical Properties of the Polyethersulfone Composites Reinforced with Glass Fibers. *Polymers*, 11 (8), 1364. doi: <https://doi.org/10.3390/polym11081364>
- Sun, G., Yu, H., Wang, Z., Xiao, Z., Li, Q. (2019). Energy absorption mechanics and design optimization of CFRP/aluminium hybrid structures for transverse loading. *International Journal of Mechanical Sciences*, 150, 767–783. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.10.043>
- Davies, P. (2016). Behavior of marine composite materials under deep submergence. *Marine Applications of Advanced Fibre-Reinforced Composites*, 125–145. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-250-1.00006-5>
- Rajak, D. K., Wagh, P. H., Linul, E. (2021). Manufacturing Technologies of Carbon/Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites and Their Properties: A Review. *Polymers*, 13 (21), 3721. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13213721>
- Vasiliev, V. V., Krikanov, A. A., Razin, A. F. (2003). New generation of filament-wound composite pressure vessels for commercial applications. *Composite Structures*, 62 (3-4), 449–459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2003.09.019>
- Wang, R., Jiao, W., Liu, W., Yang, F., He, X. (2011). Slippage coefficient measurement for non-geodesic filament-winding process. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42 (3), 303–309. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.12.002>
- Wang, Z., Almeida, J. H. S., Ashok, A., Wang, Z., Castro, S. G. P. (2022). Lightweight design of variable-angle filament-wound cylinders combining Kriging-based metamodels with particle swarm optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65 (5). doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03227-8>
- Goodship, V., Middleton, B., Cherrington, R. (2016). *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2014-0-00223-7>
- Quanjin, M., Rejab, M. R. M., Idris, M. S., Zhang, B., Kumar, N. M. (2019). Filament Winding Technique: SWOT Analysis and Applied Favorable Factors. *SCIREA Journal of Mechanical Engineering*, 3 (1). Available at: https://www.researchgate.net/publication/332329420_Filament_winding_technique_SWOT_analysis_and_applied_favorable_factors
- Lasn, K., Mulelid, M. (2020). The effect of processing on the microstructure of hoop-wound composite cylinders. *Journal of Composite Materials*, 54 (26), 3981–3997. doi: <https://doi.org/10.1177/0021998320923139>
- Fernlund, G., Wells, J., Fahrang, L., Kay, J., Poursartip, A. (2016). Causes and remedies for porosity in composite manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 139, 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/139/1/012002>
- Scott, A. E., Sinclair, I., Spearing, S. M., Mavrogordato, M. N., Hepples, W. (2014). Influence of voids on damage mechanisms in carbon/epoxy composites determined via high resolution computed tomography. *Composites Science and Technology*, 90, 147–153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2013.11.004>
- Liu, L., Zhang, B.-M., Wang, D.-F., Wu, Z.-J. (2006). Effects of cure cycles on void content and mechanical properties of composite laminates. *Composite Structures*, 73 (3), 303–309. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.02.001>
- Ekuase, O. A., Anjum, N., Eze, V. O., Okoli, O. I. (2022). A Review on the Out-of-Autoclave Process for Composite Manufacturing. *Journal of Composites Science*, 6 (6), 172. doi: <https://doi.org/10.3390/jcs6060172>
- Harshe, R. (2015). A Review on Advanced Out-of-Autoclave Composites Processing. *Journal of the Indian Institute of Science*, 95 (3), 207–220. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283229706_A_Review_on_Advanced_Out-of-Autoclave_Composites_Processing
- Peters, S. T. (Ed.) (2011). *Composite filament winding*. ASM International. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.cfw.9781627083386>
- Quanjin, M., Rejab, M. R. M., Idris, M. S., Bachtiar, B., Siregar, J. P., Harith, M. N. (2017). Design and optimize of 3-axis filament winding machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 257, 012039. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/257/1/012039>

21. Krysiak, P., Kaleta, J., Gąsior, P., Błachut, A., Rybczyński, R. (2017). Identification of strains in a multilayer composite pipe. *Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kosciuszko Military Academy of Land Forces*, 186 (4), 272–282. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.7233>
22. Mansour, G., Kyratsis, P., Korlos, A., Tzetzis, D. (2021). Investigation into the Effect of Cutting Conditions in Turning on the Surface Properties of Filament Winding GFRP Pipe Rings. *Machines*, 9 (1), 16. doi: <https://doi.org/10.3390/machines9010016>
23. Schornik, V., Daňa, M., Zetková, I. (2015). The Influence of the Cutting Conditions on the Machined Surface Quality when the CFRP is Machined. *Procedia Engineering*, 100, 1270–1276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.493>
24. Lehtiniemi, P., Dufva, K., Berg, T., Skrifvars, M., Järvelä, P. (2011). Natural fiber-based reinforcements in epoxy composites processed by filament winding. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30 (23), 1947–1955. doi: <https://doi.org/10.1177/0731684411431019>
25. Henninger, F., Friedrich, K. (2002). Thermoplastic filament winding with online-impregnation. Part A: process technology and operating efficiency. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33 (11), 1479–1486. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-835x\(02\)00135-5](https://doi.org/10.1016/s1359-835x(02)00135-5)
26. Andrianov, A., Tomita, E. K., Veras, C. A. G., Telles, B. (2022). A Low-Cost Filament Winding Technology for University Laboratories and Startups. *Polymers*, 14 (5), 1066. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14051066>
27. Geier, N., Pereszlai, C. (2019). Analysis of Characteristics of Surface Roughness of Machined CFRP Composites. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 64 (1), 67–80. doi: <https://doi.org/10.3311/ppme.14436>
28. Yao, Y., Chen, S. (2012). The effects of fiber's surface roughness on the mechanical properties of fiber-reinforced polymer composites. *Journal of Composite Materials*, 47 (23), 2909–2923. doi: <https://doi.org/10.1177/0021998312459871>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293009

РОЗРОБКА СПЛАВУ Fe-13,8Cr-8,9Mn ДЛЯ СТАЛЕВИХ БІОМАТЕРІАЛІВ (с. 6–15)

Ratna Kartikasari, Adi Subardi, Rivan Muhfidin, Ihwanul Aziz, Marwan Effendy, Triyono, Kuncoro Diharjo

Травматичні, остеоартритні, пухлинні та вроджені проблеми з кістками впливають на життя та здоров'я людини. Наступне покоління кісткових імплантатів виготовляється з біорозкладаних матеріалів, включаючи матеріали на основі заліза з чудовими механічними властивостями та високою біосумісністю. Однак спроби зменшити ризик запалення та бактеріальної інфекції через біологічну реакцію та корозійні властивості металів є серйозною проблемою. Це дослідження спрямоване на розробку біоматеріалів на основі сплавів Fe-Cr-Mn для отримання чудових фізико-механічних властивостей шляхом плазмового азотування. Кожен зразок піддавався плазмовому азотуванню у вакуумній камері при різних температурах 250–450 °C протягом 3 годин під тиском 1,8 кПа. Було проведено кілька основних випробувань, щоб дослідити вплив плазмового азотування, наприклад, хімічний склад сировини, вміст азоту на поверхні, фазові зміни, товщину, твердість і корозію. Потім ці параметри використовувалися для оцінки ефективності плазмового азотування, включаючи спостереження за зміною явищ при кожній температурній обробці. Результати показали, що формування S-фази на поверхні сплаву Fe-13,8Cr-8,9Mn є насиченим розчином азоту в γ -Fe, де вміст азоту на поверхні збільшується зі збільшенням температури азотування. Твердість поверхні шару рівномірна по всій його товщині, яка зменшується, коли сорт сировини проходить через нітридний шар. Найбільша твердість при температурі азотування 450 °C досягла 625,3 ВГН. Результати показали, що швидкість корозії значно зменшилася, досягнувши найнижчого значення, 0,0018 мм/рік, при температурі плазмового азотування 450 °C. Плазмове азотування може покращити фізико-механічні властивості сплаву Fe-Cr-Mn.

Ключові слова: плазмове азотування, сплав Fe-13,8Cr-8,9Mn, біоматеріали, поверхнева твердість, корозійна стійкість, кістковий імплантат.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288224

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЖАРОМІЦНОЇ CR-NI СТАЛІ ДЛЯ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ (с. 16–21)

В. Г. Міщенко, А. О. Кріпак, Д. М. Тонконог

Об'єктом дослідження в даній роботі є процеси формування мікроструктури і механічних властивостей жароміцних сталей залежно від їх хімічного складу.

У роботі досліджено мікроструктуру і високотемпературні механічні властивості аустенітних жароміцних хромонікелевих сталей запропонованого хімічного складу. Дослідженням мікроструктури встановлено розмір зерен та топографію включень в сталях. За результатами механічних випробувань сплановано багатофакторний експеримент, який надав можливість встановити залежність між механічними властивостями сталей з обраними в якості факторів легувальними елементами. Отримані регресійні рівняння були використані для оцінки кількісного впливу кожного легувального елемента на відповідні механічні властивості.

Аналіз результатів експерименту надав можливість визначити оптимальний хімічний склад сталі для газотурбінних двигунів, що використовуються в аерокосмічній галузі, а також в металургії виробництва титану.

Показано, що важливим фактором, який чинить суттєвий вплив на структуру, механічні та службові властивості жароміцної сталі, є стан твердого розчину та термостійкі карбіди ніобію і молібдену (карбіди хрому при температурі 950 °C розчиняються). Аустенітна структура забезпечується необхідною кількістю нікелю.

Отримані показники жароміцності сталей різних складів, випробувані за температур 850 °C, 950 °C та 1050 °C, засвідчили перевагу сталі з більшим вмістом вуглецю та хрому та меншим вмістом нікелю.

Визначено механізм зміцнення сталі та вплив на неї легування вуглецем, хромом та нікелем. Встановлено оптимальний хімічний склад жароміцної сталі на залізнікелевій основі для експлуатації при температурі 950 °C.

Ключові слова: аустенітна жароміцна хромонікелева сталь, легувальні елементи, мікроструктура, карбіди, механічні властивості, регресійний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291785

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСПЛУЧЕНЬ З ТЕКСТУРОВАНОЮ ЛУНКОВОЮ ПОВЕРХНЕЮ В УМОВАХ ГРАНИЧНОГО ТЕРТЯ (с. 22–29)

В. Є. Марчук, М. В. Кіндрачук, О. М. Гармаш, В. В. Харченко

Досліджено вплив текстури поверхні у вигляді лунок на зносостійкість трибосполучень в умовах граничного тертя. На першому етапі досліджень змодельовано механізм поведінки мастила між контактуючими поверхнями і в середині лунки. Встановлено граничну умову частоти обертання зразка ($n > 27$), при якій краплина мастильного матеріалу «покидає» лунку у верхньому положенні зразка і залишається у просторі між зразком і поверхнею контртіла, забезпечуючи регенерацію граничної мастильної плівки на поверхні трибоконтакту при її руйнуванні. При зменшенні частоти обертання зразка ($n < 27$) краплина мастильного матеріалу залишається в лунці і не впливає на процеси граничної мастильної плівки. На другому етапі проведені експериментальні дослідження трибосполучень з текстурованою лунковою поверхнею в умовах граничного тертя. Встановлено, що висока зносостійкість тексту-

рованих лункових поверхонь забезпечується високою захисною дією текстури, а також високою ефективністю граничної мастильної плівки. Доведено, що зміцнення текстури поверхні методом іонно-плазмового термоциклічного азотування додатково підвищує зносостійкість в 1,7 разів за рахунок високої захисної дії поверхневих азотованих шарів та їх високою твердістю (до 9500 МПа). Це посилює ефект гальмування виникнення дефектів у поверхневих шарах трибоконтакту, забезпечує високу швидкість змочування місць фактичного контакту трибосполучень, пришвидшує процес регенерації граничної мастильної плівки. Результати досліджень можуть використовуватися для модифікації поверхневого шару важконавантажених деталей, що працюють в екстремальних умовах експлуатації з обмеженою подачею мастильного матеріалу при різних видах тертя та зношування.

Ключові слова: зносостійкість, коефіцієнт тертя, текстурована поверхня, лунка, граничне тертя, регенерація мастильної плівки, краплина мастильного матеріалу, математична модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291064

РОЗРОБКА КОМПОЗИТІВ ЯДРО–ОБОЛОНКА ГЕКСАФЕРРИТУ БАРІЮ В ЯКОСТІ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПОГЛИНАННЯ МІКРОХВИЛЬ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ГІДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗУ (с. 30–42)

Erlina Yustanti, Alfian Noviyanto, Annisa Nur Fauziah, Bachtiar Lubis, Adhitya Trenggono, Ahmad Taufiq

У поєднанні з підвищенням рівня життя в суспільстві та швидким розвитком інформаційних технологій на ринок з'являється велика різноманітність електронних пристроїв великої ємності. Підвищені вимоги призводять до генерації випромінювання електромагнітних хвиль, що становить потенційну небезпеку для здоров'я людини. Гексаферрит барію (ГФБ) є одним із радіопоглинаючих матеріалів (РАМ), які можуть поглинати електромагнітні хвилі, оскільки він має високе анізотропне поле. Однак його недоліками є вузьке поглинання і менша стабільність. Дисульфід молібдену (MoS_2) є найкращим кандидатом для зміцнення ГФБ. Дослідження вивчало вплив збільшення тіосечовини, температури, часу гідротермічної витримки та товщини зразка на втрати відбиття. У цьому дослідженні використовувалася двостадійний розплав солі та гідротермальний синтез для виготовлення композиту ядро-комірка $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{MoS}_2$. Методи двостадійного розплавленої солі та гідротермального синтезу створили однофазні композити $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{MoS}_2$ ядро-комірка, які добре працювали. Результати показали, що додавання MoS_2 до ГФБ змінило магнітні властивості ГФБ з твердих на м'які. Підвищення гідротермальної температури до 220°C ефективно зменшило втрати $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{MoS}_2$ на відображення. На зразку товщиною 2 мм, що містить 100 ммоль тіосечовини, дослідження досягло поглинання електромагнітних хвиль 99,97 % із втратою відбиття $-35,41$ дБ ($17,37$ ГГц). Результати цього дослідження можуть бути застосовані для захисту електронних пристроїв, вразливих до перешкод сигналу від супутникових радіолокаційних систем на частотах 12–18 ГГц.

Ключові слова: гексаферрит барію, композит ядро-оболонка, гідротермальний, дисульфід молібдену, матеріал радіопоглинача, втрати на відбиття.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288025

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ МЕТОДОМ НАМОТУВАННЯ НА ВИСОКОТОЧНІ ЗРАЗКИ: ОДНОРІДНІСТЬ ГУСТИНИ, ОБ'ЄМНА ЧАСТКА ВОЛОКНА, ШОРСТКІСТЬ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ТА МІЦНІСТЬ НА РОЗТЯГ (с. 43–51)

Herry Purnomo, Tresna Priyana Soemardi, Hendri D. S. Budiono, Heri Budi Wibowo, Mahfud Ibadi

Намотування нитки є широко використовуваним способом виробництва труб і посудин під тиском з композитних матеріалів. Однак накладання волокон під час процесу намотування може призвести до грубої поверхні та збільшення пористості у готовому виробі. Щоб покращити якість полімерів, армованих вуглецевим волокном (ПАВВ), виготовлених за допомогою намотування ниток, структуру затверджують при кімнатній температурі або в печі з регульованим профілем тепла, залежно від типу використовуваної смоли. Для покращення якості зразка намагалися застосувати різні методи обробки, включаючи термозбіжну стрічку, компресійне формування та вакуумне пресування. Серед цих методів було встановлено, що пресування під вакуумом забезпечує найкращі результати щодо шорсткості поверхні, із середніми значеннями шорсткості (R_a) $0,35$ мкм у напрямку волокна та $0,61$ мкм у поперечному напрямку. Цей рівень шорсткості можна порівняти з тим, який досягається при виробництві фрезерних верстатів. Більше того, ця технологія забезпечує однорідність складу волокна та об'ємної частки, досягаючи однорідної щільності $1364,49$ кг/м³ та найвищої об'ємної частки волокна 63 %. В результаті можна отримати чудові механічні характеристики, такі як міцність на розрив $926,07$ МПа і жорсткість $21,35$ ГПа. Крім того, завдяки використанню різних методів оздоблення міцність на розрив цих властивостей може бути збільшена до 80 %. ПАВВ є універсальним матеріалом з унікальними характеристиками, і вибір відповідних методів фінішної обробки, таких як пресування під вакуумом, може значно покращити його загальну якість і механічні властивості. Однак одним із недоліків методу намотування нитки є погана обробка зовнішньої поверхні, яку можна покращити шляхом пресування під вакуумом.

Ключові слова: намотування нитки, ПАВВ, шорсткість поверхні, виготовлення, фракція волокна, порожнеча, міцність на розрив.