

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352742

**DESIGN OF BIOCOMPOSITES BASED ON A GLUTINOUS MATRIX WITH A COMBINED CONTENT OF WOOD FLOUR AND CHOPPED STALKS OF GRAIN CROPS (p. 6–14)****Vitalii Kashytskyi**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2346-912X>**Oksana Sadova**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6152-5447>**Valentyna Tkachuk**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5793-5227>**Yevhenii Chernota**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7322-7666>**Nazarii Marchuk**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9535-0757>

This study considers biocomposite materials based on a glutinous matrix and fillers of plant origin. Waste from the woodworking industry and the agricultural sector is a promising raw material for obtaining fillers for biocomposite materials, which are characterized by a high degree of environmental safety and renewable raw material base.

The task addressed is to optimize the amount of technological additive (water) in the glutinous composition, which contributes to the formation of a dense structure of the biocomposite material with a compact arrangement of particles of the combined mixture of fillers.

In the process of research, the effectiveness of using fillers of different granulometric composition against the effect of mechanical loads was determined. The complex effect of fillers of plant origin on the mechanical characteristics of biocomposite materials was studied, which made it possible to define the optimal composition of the biocomposite.

An analysis of the effect of the amount of moisture in the composition on the formation of the structure and the resistance of the biocomposite material to the effect of static and dynamic loads was carried out. The maximum values of the ultimate compressive strength (115–120 MPa) were obtained for biocomposites containing a mixture of fillers of different granulometric composition (40–80% of cereal stalk particles, the remaining particles of wood flour) provided that 30% of moisture is removed from the composition. The maximum impact strength (13.8 kJ/m<sup>2</sup>) was established for biocomposites containing 100% of crushed cereal stalks provided that 10% of moisture is removed from the composition.

The designed materials could be used to manufacture packaging elements that are disposed of after operation by recycling or through safe decomposition at landfills without harm to the environment.

**Keywords:** biopolymer, plant fillers, moisture content, compressive strength, impact strength.

**References**

- Kim, S., Lee, J., Roh, C., Eun, J., Kang, C. (2019). Evaluation of carbon fiber and p-aramid composite for industrial helmet using simple cross-ply for protecting human heads. *Mechanics of Materials*, 139, 103203. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.103203>
- Singh, Y., Singh, J., Sharma, S., Lam, T.-D., Nguyen, D.-N. (2020). Fabrication and characterization of coir/carbon-fiber reinforced epoxy based hybrid composite for helmet shells and sports-good applications: influence of fiber surface modifications on the mechanical, thermal and morphological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (6), 15593–15603. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.023>
- Prajapati, P., Sharma, C., Shrivastava, R., Rana, R. S. (2018). Evaluation of Mechanical Properties of Coir and Glass Fiber Hybrid Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5 (9), 19056–19062. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.258>
- Guillaumat, L., Baley, C. (2008). Statistical behaviour of hemp and sisal fiber reinforced polypropylene composites. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/237649784\\_Statistical\\_behaviour\\_of\\_hemp\\_and\\_sisal\\_fiber\\_reinforced\\_polypropylene\\_composites](https://www.researchgate.net/publication/237649784_Statistical_behaviour_of_hemp_and_sisal_fiber_reinforced_polypropylene_composites)
- Kumar, A., Kumar, S., Kumar, D., Mahakur, V. K., Bhowmik, S. (2024). Utilization of banana peel as bio-filler to develop bio-composite materials and characterize their physical, mechanical, thermal, and tribological characteristics. *Polymer Bulletin*, 81 (17), 16175–16196. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05464-x>
- Kamal, I., Thirmizir, M. Z., Beyer, G., Saad, M. J., Abdul Rashid, N. A., Abdul Kadir, Y. (2014). Kenaf for biocomposite: An overview. *Journal of Science and Technology*, 6 (2), 41–166. Available at: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/JST/article/view/796/681>
- Akhtar, M. N., Sulong, A. B., Nazir, M. S., Majeed, K., Khairul Fadzly Radzi, Mohd., Ismail, N. F., Raza, M. R. (2016). Kenaf-Biocomposites: Manufacturing, Characterization, and Applications. *Green Biocomposites*, 225–254. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46610-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46610-1_10)
- Shahzad, A. (2013). A Study in Physical and Mechanical Properties of Hemp Fibres. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/325085>
- Ramli, N., Mazlan, N., Ando, Y., Leman, Z., Abdan, K., Aziz, A. A., Sairy, N. A. (2018). Natural fiber for green technology in automotive industry: A brief review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368, 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/368/1/012012>
- Chard, J. M., Creech, G., Jesson, D. A., Smith, P. A. (2013). Green composites: sustainability and mechanical performance. *Plastics, Rubber and Composites*, 42 (10), 421–426. <https://doi.org/10.1179/1743289812y.00000000041>
- Melnychuk, M., Shevchuk, I., Kashytskyi, V., Feshchuk, Y., Polivoda, N. (2023). Mechanical Properties of Hybrid Composites Based on Polypropylene Modified with Natural Fillers. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI*, 221–229. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_22)
- Meinathan, S., Nandhini, T. (2022). Structural improvement in industrial helmet by combining low and medium based elastic modulus value composite fibre. *International Journal of Health Sciences*, 6 (S4), 9999–10012. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns4.10890>
- Paglicawan, M. A., Emolaga, C. S., Sudayon, J. M. B., Tria, K. B. (2021). Mechanical Properties of Abaca–Glass Fiber Composites Fabricated by Vacuum-Assisted Resin Transfer Method. *Polymers*, 13 (16), 2719. <https://doi.org/10.3390/polym13162719>
- Salman, S. D., Leman, Z., Ishak, M., Sultan, M., Cardona, F. (2017). Quasi-static penetration behavior of plain woven kenaf/aramid reinforced polyvinyl butyral hybrid laminates. *Journal of Industrial Textiles*, 47 (7), 1427–1446. <https://doi.org/10.1177/1528083717692593>
- Chen, L., Yu, Z., Fei, B., Lin, C., Fang, C., Liu, H. et al. (2022). Study on Performance and Structural Design of Bamboo Helmet. *Forests*, 13 (7), 1091. <https://doi.org/10.3390/fl13071091>
- Shivhare, Y., Narwariya, M., Sharma, C., Verma, V., Pandey, A. (2022). Effect of Coconut Husk Layer on the Behavior of Industrial Helmet.

- International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE), 9 (6), 6–11. <https://doi.org/10.36647/ijermce/09.06.a002>
17. Shukla, D. K., Sonia, P., Verma, V. (2013). Characterization of Fracture Properties of Epoxy-Alumina Polymer Nanocomposite. *Applied Mechanics and Materials*, 390, 557–561. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.390.557>
  18. Verma, V., Sayyed, A. H. M., Sharma, C., Shukla, D. K. (2020). Tensile and fracture properties of epoxy alumina composite: role of particle size and morphology. *Journal of Polymer Research*, 27 (12). <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02359-z>
  19. Verma, V., Sharma, C. (2020). Fatigue behavior of epoxy alumina nanocomposite – role of particle morphology. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 110, 102807. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102807>
  20. Verma, V., Tiwari, H. (2020). Role of filler morphology on friction and dry sliding wear behavior of epoxy alumina nanocomposites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 235 (8), 1614–1626. <https://doi.org/10.1177/1350650120970433>
  21. Verma, V., Pandey, A. K., Sharma, C. (2021). Fatigue Behavior of Particulate-Reinforced Polymer Composites. *Advanced Materials and Manufacturing Processes*, 155–171. <https://doi.org/10.1201/9781003093213-10>
  22. Thakur, V. K., Singha, A. S. (2010). Natural fibres-based polymers: Part I – Mechanical analysis of Pine needles reinforced biocomposites. *Bulletin of Materials Science*, 33 (3), 257–264. <https://doi.org/10.1007/s12034-010-0040-x>
  23. Singha, A. S., Thakur, V. K. (2008). Mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites. *Bulletin of Materials Science*, 31 (5), 791–799. <https://doi.org/10.1007/s12034-008-0126-x>
  24. Bodur, M. S., Gülmez, T., Duradimir, A. (2012). Investigations on Tensile Properties of Waste Fillers Reinforced Composites. *Defect and Diffusion Forum*, 326–328, 354–359. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ddf.326-328.354>
  25. Kashytskyi, V. P., Sadova, O. L., Yanchuk, S. L. (2023). Intensification of the formation process of sodium sulfate-modified biocomposite materials based on the glutinous matrix. *Functional Materials*, 30 (1). <https://doi.org/10.15407/fm30.01.35>
  26. ASTM D695. Compression Test on Composites and Plastics. Available at: <https://www.zwickroell.com/industries/composites/end-loading-compression-astm-d695/>
  27. ISO 179-1:2023. Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 1: Non-instrumented impact test. Available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/84393/c5581746f5fa4df4830d0b7257272d21/ISO-179-1-2023.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351508

**FRactal Assessment of Structural Changes in Cellular Concrete Under Acoustic Excitation (p. 15–24)**

**Volodymyr Martynov**

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9674-7920>

**Ihor Sychoy**

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4991-7820>

**Dmytro Taichan**

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1603-323X>

**Svetlana Makarova**

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3237-1431>

**Svetlana Sukhanova**

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3142-8790>

Cellular concrete is this study's object with emphasis on the formation and evolution of its internal structure.

Currently, there is an issue related to the insufficient quantity and quality of tools for assessing the nature of building materials' structure. This does not allow the concept of controlled structure formation to be fully applied. The results reported here confirm that artificial composite materials in the design process follow stages that have the characteristics of open systems. They are capable of self-organization and are sensitive to external energy influences, which is reflected in the change in the nature of the structure.

The use of fractal and information dimensionalities as quantitative indicators of the nature of the material structure has been proposed. The influence of water content and acoustic activation parameters on the change in structural characteristics was investigated on physical models in the form of water-clay suspensions, justified as analogs of cement slurry.

The effect of acoustic activation on the properties of foam concrete was established: at a frequency of 12 kHz, the compressive strength was 1.8 MPa, while at a frequency of (22 kHz) the strength decreased to 0.5–0.7 MPa, and the humidity increased to 34–35%, which indicates destabilization of the structure. Changes in the degree of order and complexity of the structure were quantitatively recorded using fractal and information dimensionalities.

The results are attributed to the technology of manufacturing cellular concretes, in particular foam concrete, in which the use of acoustic activation at the early stages of structure formation makes it possible to control the structure of the material and its physical and mechanical properties. The proposed approach could be integrated into industrial technological schemes provided that stable parameters of acoustic influence are ensured; it does not require significant changes to standard equipment.

**Keywords:** open system, cement slurry, building material, cellular concrete, acoustic activation.

**References**

1. Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. London: Pearson Education Limited, 844. Available at: <https://www.pearson.com/en-gb/subject-catalog/p/properties-of-concrete-properties-of-concrete/P200000005116/9780273755807>
2. Hewlett, P. C., Liska, M. (2019). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Butterworth-Heinemann, 1256. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-19325-7>
3. Nicolis, G., Prigogine, I. (1977). *Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*. Wiley, 491. Available at: <https://archive.org/details/selforganization0000nico>
4. Haken, H. (1983). *Synergetics*. In Springer Series in Synergetics. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88338-5>
5. Lohmann, J., Kölzer, T., Schaan, G., Schmidt-Döhl, F. (2023). Self-organizing systems in the construction industry. *Engineering Reports*. <https://doi.org/10.1002/eng2.12692>
6. Lan, M., Zhou, J., Li, H., Wang, Y. (2022). Numerical Simulation on Cement Hydration and Microstructure Development in Repair-Substrate Interface. *Frontiers in Materials*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.829743>
7. Memon, R. P., Huseien, G. F., Saleh, A. T., K. Ghoshal, S., Memon, U., Alwetaishi, M. et al. (2022). *Microstructure and Strength Properties*

- of Sustainable Concrete Using Effective Microorganisms as a Self-Curing Agent. *Sustainability*, 14 (16), 10443. <https://doi.org/10.3390/su141610443>
8. Danyliuk, A. Ya. (2023). Doslidzhennia mitsnisnykh kharakterystyk betonu ultrazvukovym metodom. Ternopil: TNTU, 71. Available at: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41193>
  9. Cheylitko, A. (2015). The influence of synthesis of the initial mixture and blowing agents on the formation of a porous structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (77)), 35–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51615>
  10. Zhu, X., Richardson, I. G. (2023). Morphology-structural change of C-A-S-H gel in blended cements. *Cement and Concrete Research*, 168, 107156. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107156>
  11. Cangemi, L. M., Bhadra, C., Levy, A. (2024). Quantum engines and refrigerators. *Physics Reports*, 1087, 1–71. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2024.07.001>
  12. Basu, S., Sasmal, S., Kundu, T. (2024). Ultrasonic wave characteristics in multiscale cementitious materials at different stages of hydration. *Ultrasonics*, 142, 107397. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2024.107397>
  13. Swartz, M., Mbasha, W., Haldenwang, R. (2023). The Effect of a Blended Polycarboxylate Superplasticizer on the Rheology of Self-Compacting Concrete Paste. *Applied Sciences*, 13 (7), 4148. <https://doi.org/10.3390/app13074148>
  14. Xiong, G., Ren, Y., Fang, Z., Jia, X., Sun, K., Guo, B. et al. (2024). Understanding the cavitation effect of power ultrasound in cement paste. *Construction and Building Materials*, 438, 137089. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137089>
  15. Remus, R., Rößler, C., Peters, S., Sowoidnich, T., Ludwig, H.-M. (2024). Fundamental effects of using power ultrasound to accelerate C3S hydration. *Cement and Concrete Research*, 180, 107514. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107514>
  16. Ehsani, A., Ganjian, E., Haas, O., Tyrer, M., Mason, T. J. (2023). The positive effects of power ultrasound on Portland cement pastes and mortars; a study of chemical shrinkage and mechanical performance. *Cement and Concrete Composites*, 137, 104935. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.104935>
  17. Zhang, P., Ding, J., Guo, J., Wang, F. (2024). Fractal Analysis of Cement-Based Composite Microstructure and Its Application in Evaluation of Macroscopic Performance of Cement-Based Composites: A Review. *Fractal and Fractional*, 8 (6), 304. <https://doi.org/10.3390/fractalfrac8060304>
  18. Guan, D., Pan, T., Guo, R., Wei, Y., Qi, R., Fu, C. et al. (2024). Fractal and Multifractal Analysis of Microscopic Pore Structure of UHPC Matrix Modified with Nano Silica. *Fractal and Fractional*, 8 (6), 360. <https://doi.org/10.3390/fractalfrac8060360>
  19. Liu, Y., Zhao, Z., Amin, M. N., Ahmed, B., Khan, K., Arifeen, S. U., Althoey, F. (2024). Foam concrete for lightweight construction applications: A comprehensive review of the research development and material characteristics. *Reviews on Advanced Materials Science*, 63 (1). <https://doi.org/10.1515/rams-2024-0022>
  20. Zhang, X., Meng, L., Li, Q., Wang, Y., Liu, D., Wei, K. (2025). Pore size distributions and fractal characteristics of basalt fiber-reinforced coral sand concrete. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06480-1>
  21. Wu, L., Li, Y., Fu, Z., Su, B.-L. (2020). Hierarchically structured porous materials: synthesis strategies and applications in energy storage. *National Science Review*, 7 (11), 1667–1701. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa183>
  22. Al-Allaf, M. H., Weekes, L., Augustus-Nelson, L., Leach, P. (2016). An experimental investigation into the bond-slip behaviour between CFRP composite and lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 113, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.032>
  23. Chen, Y., Wang, Q. (2005). Extended Jacobi elliptic function rational expansion method and abundant families of Jacobi elliptic function solutions to (1 + 1)-dimensional dispersive long wave equation. *Chaos, Solitons & Fractals*, 24 (3), 745–757. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.09.014>
  24. Martynov, V. I., Vyrovoy, V. M., Makarova, S. S. (2021). Nizdriuvati betony. Sklad, tekhnolohiya, struktura, vlastyvoli. Odesa: ODABA, 162.
  25. Martynov, V., Vyrovoy, V. M., Makarova, S., Taichan, D. (2024). The Influence of the Solid Phase on the Properties of Foam Concrete. *Materials Science Forum*, 1138, 121–130. <https://doi.org/10.4028/p-4maykh>
  26. Martynov, V., Taichan, D. (2025). Informational content of fractal structures of building materials. *Science and Construction*, 44 (2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2025-6>
  27. Chen, Y. (2020). Equivalent relation between normalized spatial entropy and fractal dimension. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 553, 124627. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124627>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.349675

**IDENTIFICATION OF THE EFFECT AND MECHANISM OF AUSTENITIZING TEMPERATURE, SPROCKET ROTATION SPEED, AND QUENCHING MEDIUM ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF FLAME-HARDENED GEAR STEEL (p. 25–34)**

Agus Suprpto

Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5973-0381>

Jumiadi

Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1889-763X>

Pungky Eka Setyawan

Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0207-3003>

Mesti Nadya

Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8301-0746>

Sergius Sadu

Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4156-7368>

The object of this study is a medium-carbon gear steel commonly used for sprockets and gears in mechanical drive systems. The problem to be solved in this study is the limited understanding of the integrated effect of austenitizing temperature, sprocket rotation speed, and quenching medium on surface hardness and microstructural evolution, that makes parameter selection of flame hardening in industry does not optimum. The experiments were conducted by heating the medium-carbon gear steel into austenitizing temperatures of 850°C and 900°C, rotation speeds of 1503 rpm and 1977 rpm, and using water and oil as quenching medium. Specimens were evaluated by using Rockwell hardness tester (B scale) and optical microscopy. The result of this study reveals that the highest surface hardness of 120.08 HRB is achieved at austenitizing temperature of 900°C, rotation speed of 1503 rpm, and quenched by using water. This is also supported by the result of microstructural observations which show very fine martensite. The surface hardening is most affected by quenching medium, while rotation speed has no significant effect on the hardness enhancement. At austenitizing temperature of 900°C, the steel has been in austenite phase, so the increasing rotation speed reduces hardness due to excessive heat input and austenite grain coarsening. The distinctive feature of these results lies in the identification of interaction mechanisms between thermal exposure time and cooling rate. The findings can be practically applied to medium-carbon gear steel components subjected to controlled flame hardening with con-

tinuous rotation at speeds of 1503–1977 rpm, followed by water or oil quenching, particularly in small- and medium-scale industrial heat treatment of gears and sprockets.

**Keywords:** flame hardening, medium-carbon gear steel, microstructure, quenching medium, surface hardness.

## References

- Haiko, O., Pallaspuuro, S., Javaheri, V., Kaikkonen, P., Ghosh, S., Valtonen, K., Kaijalainen, A., Kömi, J. (2023). High-stress abrasive wear performance of medium-carbon direct-quenched and partitioned, carbide-free bainitic, and martensitic steels. *Wear*, 526-527, 204925. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204925>
- Yu, Q., Zhao, Y., Zhao, F. (2025). Effect of austenitizing temperature on microstructure and mechanical properties of medium carbon spring steel. *Materials Letters: X*, 26, 100251. <https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2025.100251>
- Fattah, R. N., Sugiyanto, S., Priyambodo, B. H., Nurhidayat, A., Yaqin, R. I. (2023). Rekayasa Peningkatan Kekerasan Permukaan Gear Sprocket Sepeda Motor dengan Metode Quenching Variasi Media Pendingin. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 5 (1), 8–13. <https://doi.org/10.18196/jqt.v5i1.19418>
- Gathmann, M., Tönnissen, N., Baron, C., Kostka, A., Steinbacher, M., Springer, H. (2024). Surface hardening of high modulus steels through carburizing and nitriding: First insights into microstructure property relationships. *Surface and Coatings Technology*, 494, 131354. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.131354>
- Thamilarasan, J., Karunakaran, N., Nanthakumar, P. (2021). Optimization of oxy-acetylene flame hardening parameters to analysis the surface structure of low carbon steel. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4169–4173. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.680>
- Jeyaraj, S., Arulshri, K.P., Harshavardhan, K., Sivasakthivel, P.S. (2015). Optimization of Flame Hardening Process Parameters Using L9 Orthogonal Array of Taguchi Approach. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimization-of-Flame-Hardening-Process-Parameters-Jeyaraj-Arulshri/227823755df2ac8da50e005822418fa1e220d864>
- Zhang, Y., Liu, W., Long, X., Liu, Z., Li, Y., Yang, Z., Zhang, Y. (2025). Combining in-situ technology to study the influence of bainite morphology on the strength and toughness properties of medium-carbon bainitic steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 36, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.03.106>
- Luo, R., Chen, J., Ding, H., Zhang, P., Liao, J., Yu, Y. et al. (2025). The effect of quenching cooling rate on the microstructure and tensile/compressive behaviors of 2Cr12Ni martensitic stainless steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 36, 2994–3006. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.03.227>
- Ajoge, E. O., James, M. (2024). Influence of Different Quenching Media on the Mechanical Properties of Mild Steel – A Case Study of Coconut Oil, Mineral Oil, Jatropha Oil, and Water. *Metall Alloy*, 10, 1–8. Available at: <https://journalspub.com/wp-content/uploads/2024/12/1-8Influence-of-Different-Quenching-Media.pdf>
- Li, B., Bai, W., Yang, K., Hu, C., Wei, G., Liu, J. et al. (2024). Revealing the microstructural evolution and strengthening mechanism of Mg-5.5Gd-3Y-1Zn-0.5Mn alloy in centrifugal casting and subsequent hot rolling. *Journal of Alloys and Compounds*, 984, 173950. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.173950>
- Kombayev, K., Nedobitkov, A., Gridunov, I., Kozhakhmetov, Y., Khoshnaw, F., Aibar, K. (2025). Surface crack analysis and quality enhancement of 30X13 (AISI 420) martensitic stainless steel gate valve shutters via electrolytic plasma hardening. *Results in Engineering*, 26, 104966. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104966>
- Oliaei, M., Jamaati, R., Jamshidi Aval, H. (2025). Optimizing microstructure and performance: The impact of pre-deformation and rotational speed on friction stir processed Cu-W composites. *Journal of Advanced Joining Processes*, 11, 100308. <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2025.100308>
- Bararpour, S. M., Jamshidi Aval, H., Jamaati, R., Javidani, M. (2024). Effect of heat treatment before fast multiple rotation rolling on friction surfaced Al-Si-Cu alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 33, 940–953. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.09.119>
- Kristiadi, S., Lesmanah, U., Raharjo, A. (2023). Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Pada Pengecoran Aluminium 6061. *Ring Mechanical Engineering*, 2(2), 101–112. <https://doi.org/10.33474/rm.v2i2.19906>
- Li, Q., Li, W., Li, M., Su, M., Hu, Z., Ma, H. et al. (2025). Improving the high stress abrasive wear resistance of medium carbon quenched and partitioned bainitic steel by controlling the phase transformation sequence. *Journal of Materials Research and Technology*, 38, 2808–2819. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.08.109>
- Li, X., Li, Z., Dong, L., Liu, B., Wang, H., Shi, T. et al. (2025). Study of microstructure evolution and fatigue crack extension properties of 42CrMo steel strengthened by induction hardening. *Journal of Materials Research and Technology*, 35, 3887–3901. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.02.069>
- Xin, M., Wang, Z., Lu, B., Li, Y. (2022). Effects of different process parameters on microstructure evolution and mechanical properties of 2060 Al-Li alloy during vacuum centrifugal casting. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.147>
- Sundari, E., Taufikurrahman, Fahlevi, R. (2018). Analisa pengaruh pack carburizing terhadap sifat mekanis sprocket imitasi sepeda motor menggunakan arang kayu gelam dan serbuk cangkang remis sebagai katalisator Austenit, 10 (2), 72–78. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4547659>
- ASTM E18-22. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. <https://doi.org/10.1520/e0018-22>
- Ackermann, M., Iren, D., Wesselmecking, S., Shetty, D., Krupp, U. (2022). Automated segmentation of martensite-austenite islands in bainitic steel. *Materials Characterization*, 191, 112091. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112091>
- Chakraborty, S., Björk, J., Dahlqvist, M., Rosen, J., Heintz, F. (2026). A survey of AI-supported materials informatics. *Computer Science Review*, 59, 100845. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2025.100845>
- Ponhan, K., Jiandon, P., Juntaracena, K., Potisawang, C., Kongpuang, M. (2024). Enhanced microstructures, mechanical properties, and machinability of high performance ADC12/SiC composites fabricated through the integration of a master pellet feeding approach and ultrasonication-assisted stir casting. *Results in Engineering*, 24, 102937. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102937>
- Pizetta Zordão, L. H., Oliveira, V. A., Totten, G. E., Canale, L. C. F. (2019). Quenching power of aqueous salt solution. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 140, 807–818. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.036>
- Moshokoa, N. A., Makhatha, E., Raganya, L., Makoana, N. W., Mkhonto, D., Phasha, M. (2026). Study of phase constituents, microstructural evolution, tensile properties and micro-Vickers hardness of as-cast and water quenched Ti-Mo-Fe alloys. *Results in Materials*, 29, 100885. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2026.100885>
- dos Santos, S. L., Santos, S. F. (2024). Heat treatment of the SAE 9254 spring steel: Influence of cooling rate on the microstructure and microhardness. *Next Materials*, 3, 100175. <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2024.100175>
- Arabacı, U. (2024). The effects of oil-quenching and over-tempering heat treatments on the dry sliding wear behaviours of 25CrMo4 steel. *Heliyon*, 10 (3), e25589. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25589>
- Zhang, L., Miao, Y., Wang, J., Zhang, M., Liu, Y., Zhou, Y. et al. (2025). Research on the microstructural differences and mechanical response mechanisms of martensitic stainless steel additive manufacturing under cross-scale heat input control. *Materials & Design*, 260, 115132. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.115132>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352742

### РОЗРОБКА БІОКОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ ГЛЮТИНОВОЇ МАТРИЦІ З КОМБІНОВАНИМ ВМІСТОМ ДЕРЕВНОГО БОРОШНА ТА ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР (с. 6–14)

В. П. Кашицький, О. Л. Садова, В. В. Ткачук, Є. Ю. Чернота, Н. А. Марчук

Об'єктом дослідження є біокомпозитні матеріали на основі глютинової матриці та наповнювачів рослинного походження. Відходи деревообробної промисловості та сільськогосподарської галузі є перспективною сировиною для отримання наповнювачів біокомпозитних матеріалів, які характеризуються високим ступенем екологічної безпеки та відновлюваності сировинної бази. Основна проблематика дослідження полягає в оптимізації кількості технологічної добавки (води) у глютиновій композиції, що сприяє формуванню щільної структури біокомпозитного матеріалу з компактним розташуванням частинок комбінованої суміші наповнювачів.

В процесі досліджень визначено ефективність використання наповнювачів різного гранулометричного складу до впливу механічних навантажень. Досліджено комплексний вплив наповнювачів рослинного походження на механічні характеристики біокомпозитних матеріалів, що дозволило визначити оптимальний склад біокомпозиту. Проведено аналіз впливу кількості вологи в композиції на формування структури та стійкість біокомпозитного матеріалу до впливу статичних та динамічних навантажень. Максимальні значення межі міцності на стиснення (115–120 МПа) отримано для біокомпозитів, які місять суміш наповнювачів різного гранулометричного складу (40–80% частинок стебел зернових культур, решта частинки деревного борошна) за умови видалення вологи в кількості 30% з композиції. Максимальне значення ударної в'язкості (13,8 кДж/м<sup>2</sup>) отримано для біокомпозитів, з вмістом 100% подрібнених стебел зернових культур за умови видалення вологи в кількості 10% з композиції. Розроблені матеріали можна використовувати для виготовлення елементів тари, яка після експлуатації утилізується шляхом переробки або безпечного розкладу на сміттєвих полігонах без шкоди навколишньому середовищу.

**Ключові слова:** біополімер, рослинні наповнювачі, вміст вологи, міцність на стискання, ударна в'язкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351508

### ФРАКТАЛЬНА ОЦІНКА СТРУКТУРНИХ ЗМІН У НІЗДРЮВАТОМУ БЕТОНІ ПІД ДІЄЮ АКУСТИЧНОГО ЗБУДЖЕННЯ (с. 15–24)

В. І. Мартинов, І. І. Сичов, Д. С. Тайчан, С. С. Макарова, С. В. Суханова

В якості об'єкта досліджень вибрано ніздрюватий бетон та його структура. Наразі існує проблема, яка полягає у недостатній кількості та якості інструментів оцінки характеру структури будівельних матеріалів. Це не дає в повній мірі застосувати концепцію керованого структуроутворення. Отримані результати підтверджують, що штучні композиційні матеріали в процесі створення проходять стадії, які мають ознаки відкритих систем. Вони здатні до самоорганізації та чутливі до зовнішніх енергетичних впливів, що відтворюється на зміні характеру структури. Запропоновано застосування фрактальної та інформаційної розмірностей як кількісних показників характеру структури матеріалу. На фізичних моделях у вигляді водоглиняних суспензій, обгрунтованих як аналоги цементного тіста, досліджено вплив водовмісту та параметрів акустичної активації на зміну структурних характеристик. Встановлено вплив акустичної активації на властивості пінобетону: при частоті 12 кГц міцність на стиск становила 1,8 МПа, тоді як при частоті (22 кГц) міцність знижувалась до 0,5–0,7 МПа, а вологість зростала до 34–35%, що свідчить про дестабілізацію структури. Зміни ступеня впорядкованості та складності структури кількісно зафіксовані за допомогою фрактальної та інформаційної розмірностей. Отримані результати пов'язані з технологією виготовлення ніздрюватих бетонів, зокрема пінобетону, де застосування акустичної активації на ранніх стадіях структуроутворення дозволяє керувати структурою матеріалу та його фізико-механічними властивостями. Запропонований підхід може бути інтегрований у промислові технологічні схеми за умови забезпечення стабільних параметрів акустичного впливу і не потребує істотної зміни стандартного обладнання.

**Ключові слова:** відкрита система, цементне тісто, будівельний матеріал, ніздрюватий бетон, акустична активація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.349675

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ АУСТЕНІТИЗАЦІЇ, ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ЗІРОЧКИ ТА СЕРЕДОВИЩА ЗАГАРТУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ТВЕРДІСТЬ ВИПАЛЕНОЇ ПОЛУМ'ЯМ ШЕСТЕРЕННОЇ СТАЛІ (с. 25–34)

Agus Suprpto, Jumiadi Jumiadi, Pungky Eka Setyawan, Mesti Nadya, Sergius Sadu

Об'єктом цього дослідження є середньовуглецева зубчаста сталь, яка зазвичай використовується для зірочок та шестерень у системах механічних приводів. Проблема, яку необхідно вирішити в цьому дослідженні, полягає в обмеженому розумінні комплексного впливу температури аустенізації, швидкості обертання зірочки та гартуючого середовища на твердість поверхні та еволюцію мікроструктури, що робить вибір параметрів полум'яного гартування в промисловості неоптимальним. Експерименти проводилися шляхом нагрівання середньовуглецевої зубчастої сталі до температур аустенізації 850°C та 900°C, швидкостей

обертання 1503 об/хв та 1977 об/хв, з використанням води та олії як гартуючого середовища. Зразки оцінювали за допомогою твердоміра Роквелла (шкала В) та оптичної мікроскопії. Результат цього дослідження показує, що найвища поверхнева твердість 120,08 HRB досягається при температурі аустенізації 900°C, швидкості обертання 1503 об/хв та гартуванні водою. Це також підтверджується результатами мікроструктурних спостережень, які показують дуже дрібний мартенсит. Поверхнєве зміцнення найбільше залежить від гартуючого середовища, тоді як швидкість обертання не має суттєвого впливу на підвищення твердості. При температурі аустенізації 900°C сталь перебуває в аустенітній фазі, тому збільшення швидкості обертання знижує твердість через надмірне підведення тепла та укрупнення зерен аустеніту. Відмінною особливістю цих результатів є виявлення механізмів взаємодії між часом термічної витримки та швидкістю охолодження. Отримані результати можуть бути практично застосовані до компонентів із середньовуглецевої зубчастої сталі, що піддаються контрольованому полум'яному гартуванню з безперервним обертанням зі швидкістю 1503–1977 об/хв з подальшим гартуванням у воді або олії, зокрема при термічній обробці зубчастих коліс та зірочок у малому та середньому масштабі промислового виробництва.

**Ключові слова:** полум'яне гартування, середньовуглецева зубчаста сталь, мікроструктура, гартуюче середовище, поверхнева твердість.