

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356687

REVEALING THE INFLUENCE OF ZEOLITE AND FIBER ON THE PROCESSES OF STRUCTURE FORMATION IN PLASTICIZED CEMENT COMPOSITIONS (p. 6–17)**Alexandra Dovgan**Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6140-3159>

This study investigates cement-plasticized slurry for the production of decorative concrete based on it. Given the difficult operating conditions of concrete in architectural elements, it is important to enable the preservation of its functional properties. Due to the fact that the microstructure of the material of articles is a rather disordered system, consisting of substructures and discontinuities of different composition, it is necessary to optimize the process of cluster aggregate formation and its interparticle interaction.

This paper considers issues related to the study of the influence of modifiers and fibers on the processes of structure formation of 25 pastes. Analysis of changes in rheological parameters revealed that, depending on the composition of discrete particles and their modification, it is possible to significantly improve the adhesion strength and energy of the interaction of aggregates. It was found that when replacing part of the cement with zeolite in highly plasticized unreinforced systems, the plastic strength increases by 11.5 times, and the rate of its growth at the point of 2 kPa increases by 1.7 times.

It was established that among discrete fibers, short fibers have a significant impact on the initial process of structure formation of pastes, especially in compositions with a low level of modification of binder systems. An increase in the content of short fibers while simultaneously reducing long fibers provides an increase in plastic strength and speed by 4.2 and 3.3 times, respectively.

The use of kinetic equations of structure formation processes together with experimental and statistical models for analyzing the influence of formulation factors on rheological indicators is appropriate in the design of rational compositions of binder slurry for decorative concretes. The devised compositions of cement slurry, subject to comprehensive analysis and optimization of the parameters of the structure of the binder stone, will be implemented in the practice of manufacturing concrete for architectural elements.

Keywords: cement paste, fiber concrete, pozzolanic activity, experimental-statistical model, decorative concrete.

References

- Zhu, W., Feng, Q., Luo, Q., Yan, J., Lu, C. (2022). Investigating the effect of polycarboxylate-ether based superplasticizer on the microstructure of cement paste during the setting process. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00999. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00999>
- Valentini, L., Dalconi, M. C., Artioli, G. (2018). Role of Polycarboxylate-ether superplasticizers on cement hydration kinetics and microstructural development. *MATEC Web of Conferences*, 149, 01004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814901004>
- Yang, Y., Tan, Y., Li, Z., Zhou, G., Yu, X., Xu, D. et al. (2024). Interaction mechanisms between polycarboxylate superplasticizers and cement, and the influence of functional groups on superplasticizer performance: a review. *Polymer Bulletin*, 81 (12), 10415–10438. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05233-w>
- Kriptavicius, D. (2021). Influence of natural zeolite on portland cement hydration processes and properties of hardened cement paste. *Ceramics - Silikaty*, 65 (3), 247–254. <https://doi.org/10.13168/cs.2021.0025>
- Islam, M. S., Mohr, B. J. (2023). Performance of clinoptilolite zeolite after milling as a pretreatment on hydration kinetics, shrinkage, and alkali-silica reaction of cementitious materials. *CEMENT*, 12, 100069. <https://doi.org/10.1016/j.cement.2023.100069>
- Petkova, V., Stoyanov, V., Mihaylova, K., Kostova, B. (2025). Impact of pozzolanic and inert powders on the microstructure and thermal chemistry of cement mortars. *Ceramics International*, 51 (5), 5514–5527. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.06.018>
- Kriptavicius, D., Girska, G., Ivanauskas, E., Korjakins, A. (2023). Complex Effect of Portland Cement Modified with Natural Zeolite and Ground Glass Mixture on Durability Properties of Concrete. *Buildings*, 13 (10), 2576. <https://doi.org/10.3390/buildings13102576>
- Vaicekauskienė, V. (2024). The effect of cellulose fiber on the properties and structure of hardened cement paste. *Ceramics - Silikaty*, 68 (2), 225–233. <https://doi.org/10.13168/cs.2024.0022>
- He, R., Zhou, J.-L., Huang, P.-M., Guan, B.-W., Sheng, Y.-P. (2015). Effects of mineral admixtures on microstructure-linked strength properties of macro-synthetic fiber reinforced concrete. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 8 (2), 94–102. [https://doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2015.8\(2\).94](https://doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2015.8(2).94)
- Yu, X., Zhang, Z., Han, B., Dai, S., Wang, H. (2025). The effect of glass fiber on mechanical behavior and microstructure of cement-based solidified soil for protecting foundations of offshore wind turbines. *Construction and Building Materials*, 494, 143464. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143464>
- Cao, M., Xu, L., Zhang, C. (2018). Rheological and mechanical properties of hybrid fiber reinforced cement mortar. *Construction and Building Materials*, 171, 736–742. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.054>
- Lyashenko, T. V., Voznesensky, V. A. (2017). Composition-process fields methodology in computational building materials science. Odesa, 168. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1FCCYDYRe5jC10N3l6WzwlT4IgladhQF/view>
- Dovgan, O., Vyrovoy, V., Lyashenko, T., Dovgan, P. (2025). Features of microstructure organization decorative composites. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 22, 43–56. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-05](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-05)
- DSTU B EN 196-9:2015. Metody vyprovuvannia tsementu. Chastyna 9. Teplota hidratatsiyi. Napivadiabatychnyi metod (EN 196-9:2010, IDT). Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=63733
- DSTU EN 196-1:2019. Metody vyprovuvannia tsementu. Chastyna 1. Vyznachennia mitsnosti (EN 196-1:2016, IDT). Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106588
- Dovhan, O. D., Dovhan, O. D., Dovhan, O. D. (2022). Pat. No. 129391 UA. Method for determining concrete damage. No. a202202726;

declared: 29.07.2022; published: 10.04.2025. Available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1850713/>

17. Lyashenko, T. V., Dovgan, A. D., Dovgan, P. M. (2018). Decorative concrete with hybrid glass fibre: design and first results of the experiment. *Bulletin of Odessa state academy of civil engineering and architecture*, 70, 99–105. Available at: https://www.researchgate.net/publication/324455222_Decorative_concrete_with_hybrid_glass_fibre_design_and_first_results_of_the_experiment/citations
18. Dovgan, O. D., Vyrovoy, V. M., Dovgan, P. M., Makarova, S. V. (2024). Role of discrete reinforcement in the organization of the microstructure of decorative composites. *Modern Construction and Architecture*, 10, 69–81. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-10-69-81>
19. Dovgan, O. D., Vyrovoy, V. M. (2025). Role of fiber in the organization of the structure of material on the level of products. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*, 47, 89–99. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i47.10>
20. Dovgan, A. (2025). Modeling the influence of structural elements on the properties of the microstructure of decorative concrete. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 110, 113. <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2025.110.0.113>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359357

DETERMINING PHYSICAL-CHEMICAL PATTERNS DURING THE FORMATION OF BRAZED JOINTS BETWEEN TUNGSTEN AND CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIAL (p. 18–28)

Roman Huba

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2173-517X>

Liudmyla Kamkina

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8329-0917>

Serhii Bushtruk

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7855-9819>

Andrii Troian

Flight Control LLC, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9063-2025>

Serhii Asmolovskiy

Flight Control LLC, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5423-9365>

Serhii Oslavskiy

Flight Control LLC, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4903-3048>

This study investigates experimentally produced brazed joints between carbon-carbon composite material (CCCM) and tungsten in a vacuum.

The task addressed is to obtain high-temperature brazed joints capable of operating at temperatures of 1400–1600°C in a vacuum under conditions of high thermal cycling loads. Existing methods for joining CCCM with tungsten testify for a virtual lack of experience in brazing such materials, especially for structures of thermal emission equipment.

In this work, a method was used to produce a metallized layer zone with partial melting using a mixture of Ti-Nb-Zr powders on

the inner surface of an CCCM sample. Subsequently, the CCCM and tungsten samples were brazed with a Ti-Nb filler metal at a temperature of 1840°C in a vacuum.

The results of microstructural analysis revealed that the brazed joint exhibits a zonal structure. Zone I – a reaction carbide layer (width 10–12 μm), zone II – diffusion layer (width up to 70 μm), zone III – reaction layer adjacent to tungsten (width up to 30 μm). The results of phase formation modeling conducted at a temperature of 1840°C indicate the predominant formation of TiC, NbC, Nb₆C₅, and Nb₂C. Additionally, the distribution of C, Ti, Nb, and W in the brazed joint was determined. The results of the microhardness study confirmed the accuracy of the simulation and showed that microhardness values decrease from Zone I (2300 HV) to Zone III (500–600 HV).

The proposed solutions demonstrate that the metallized layer helps retain solder in the joint gap; reduces thermomechanical stresses; and promotes the formation of a gradual hardness gradient. Together, these characteristics improve the ductile properties of the brazed joint.

The results of this study could be applied in the field of instrument engineering, specifically in the manufacture of cathode components whose emitters are made from ultrafine powders of rare-earth borides or their alloys.

Keywords: carbon-carbon composite material, vacuum brazing, tungsten, phase formation, cathode.

References

1. Hurin, I., Nevlyudov, I., Ovcharenko, V., Tokarieva, O. (2023). Current leads for resistive CCCM heaters. *Integrated Technologies and Energy Saving*, 4, 49–57. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2023.4.05>
2. Qin, Y., Feng, J. (2007). Microstructure and mechanical properties of C/C composite/TC4 joint using AgCuTi filler metal. *Materials Science and Engineering: A*, 454–455, 322–327. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.11.056>
3. Wang, Z. Y., Li, M. N., Ba, J., Ma, Q., Fan, Z. Q., Lin, J. H. et al. (2018). In-Situ synthesized TiC nano-flakes reinforced C/C composite-Nb brazed joint. *Journal of the European Ceramic Society*, 38 (4), 1059–1068. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.11.059>
4. Prykhodko, V. E., Kulyk, A. V. (2001). Analysis of physicochemical processes of graphite with metals juncture in a fluid phase. *Space Science and Technology*, 7 (1s), 153–157. <https://doi.org/10.15407/knit2001.01s.153>
5. Wen, Z., Lin, H., Chen, W., Bai, K., Zhang, L. (2023). High-throughput exploration of composition-dependent elasto-plastic and diffusion properties of refractory multi-element Ti-Nb-Zr-W alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 33 (9), 2646–2659. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(23\)66287-9](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(23)66287-9)
6. Oryshych, D. V., Ivashishin, O. M., Markovsky, P. E., Savvakina, D. G., Stasiuk, O. O., Bondarchuk, V. I. (2020). Peculiarities of Pore Structure Formation upon Zr-Ti-Nb Alloys Synthesis Using Hydrogenated Powder Blends. *METALLOFIZIKA I NOVEISHIE TEKHNOLOGII*, 42 (12), 1681–1700. <https://doi.org/10.15407/mfint.42.12.1681>
7. Li, S., Du, D., Zhang, L., Song, X., Zheng, Y., Huang, G., Long, W. (2021). A review on filler materials for brazing of carbon-carbon composites. *Reviews on Advanced Materials Science*, 60 (1), 92–111. <https://doi.org/10.1515/rams-2021-0007>
8. Pat. No. FR1254315A. Process for producing an assembly of titanium and graphite. declared: 15.04.1960; published: 17.02.1961.

- Available at: <https://patents.google.com/patent/FR1254315A/en?q=1254315+FR>
9. Donnelly, R. G., Gillil, R. G., Slaughter, G. M. (1960). Pat. No. 3079251 US. Brazing alloys. declared: 25.07.1960; published: 25.02.1963. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/c3/67/cf/37b8b5281f7771/US3079251.pdf>
 10. Wang, C., Yang, Y., Zeng, G., Zhou, X., Huang, H., Feng, S. (2023). Carbon–Carbon Composite Metallic Alloy Joints and Corresponding Nanoscale Interfaces, a Short Review: Challenges, Strategies, and Prospects. *Crystals*, 13 (10), 1444. <https://doi.org/10.3390/cryst13101444>
 11. Elrefaey, A., Tillmann, W. (2009). Effect of brazing parameters on microstructure and mechanical properties of titanium joints. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (10), 4842–4849. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.01.006>
 12. Qin, Y., Feng, J. (2009). Active brazing carbon/carbon composite to TC4 with Cu and Mo composite interlayers. *Materials Science and Engineering: A*, 525 (1-2), 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.06.049>
 13. Cao, J., He, Z., Qi, J., Wang, H., Feng, J. (2018). Brazing of C/C Composite to TiAl Alloy Using (Ti/Ni/Cu)f Multi-foil Filler. *Journal of Mechanical Engineering*, 54 (1), 108. <https://doi.org/10.3901/jme.2018.09.108>
 14. Shi, X., Jin, X., Yan, N., Yang, L. (2017). Influence of micro-oxidation on joints of C/C composites and GH3044 for large-size aerospace parts. *Acta Astronautica*, 140, 478–484. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.09.015>
 15. Wang, Y., Wang, W., Huang, J., Yu, R., Yang, J., Chen, S. (2019). Reactive composite brazing of C/C composite and GH3044 with Ag–Ti mixed powder filler material. *Materials Science and Engineering: A*, 759, 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.05.065>
 16. Wang, Y., Wang, W., Huang, J., Zhou, S., Yang, J., Chen, S. (2021). Composite brazing of C/C composite and Ni-based superalloy using (Ag–10Ti)+TiC filler material. *Journal of Materials Processing Technology*, 288, 116886. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116886>
 17. Gribov, Yu. A., Gurin, I. V., Gujda, V. V., Bukolov, A. N., Kolesenko, V. V. (2020). Investigation on corrosion properties of carbon-carbon composites. *Problems of Atomic Science and Technology*, 1 (125), 154–160. <https://doi.org/10.46813/2020-125-154>
 18. Peng, Y., Huang, G., Long, L., Zhou, P., Du, Y., Long, J. et al. (2020). A thermodynamic description of the C–Nb–Ti system over the whole composition and temperature ranges and its application in solidification microstructure analysis. *Calphad*, 70, 101769. <https://doi.org/10.1016/j.calphad.2020.101769>
 19. Zeng, Y., Zhou, P., Du, Y. (2018). Thermodynamic assessment of the C–Zr–Nb ternary system. *Calphad*, 61, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.calphad.2018.02.009>
 20. Haldar, B., Bandyopadhyay, D., Sharma, R. C., Chakraborti, N. (1999). The Ti–W–C (Titanium–Tungsten–Carbon) System. *Journal of Phase Equilibria*, 20 (3), 337–343. <https://doi.org/10.1361/105497199770335866>
 21. Rudy, E. (1969). Ternary Phase Equilibria in Transition Metal–Boron–Silicon Systems. Part II, Ternary Systems Volume XVIII. Constitution of Niobium–Tungsten–Carbon Alloys, Mater. Res. Lab., Aerojet-Gen. Corp., Sacramento, CA, USA. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD0685186.pdf>
 22. Roine, A. (2006). HSC Chemistry 6.0 User's Guide. Volume 1 / 2 Chemical Reaction and Equilibrium Software with Extensive Thermochemical Database and Flowsheet Simulation, 06120-ORC-T. Outokumpu Research Oy Information Service.
 23. Tashiro, M., Kasahara, A. (1994). Pat. No. 5904287A US. Method of bonding graphite to metal. declared: 29.07.1994; published: 18.05.1999. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/7d/a4/77/0ef368f2050bad/US5904287.pdf>
 24. Shatynski, S. R. (1979). The thermochemistry of transition metal carbides. *Oxidation of Metals*, 13 (2), 105–118. <https://doi.org/10.1007/bf00611975>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359307

IMPROVING THE INDUCTIVELY COUPLED PLASMA TECHNOLOGICAL PROCESS OF ALUMINUM POWDER SPHEROIDIZATION (p. 29–38)

Mykola Lyutyk

LLC KLAKONA SYSTEMS, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-8229-7327>

Mykola Skulskyi

LLC KLAKONA SYSTEMS, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-4584-2194>

Serhii Maikut

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0913-4190>

Anatoly Kuzmichev

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0087-275X>

Valeriy Pashchenko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3742-6913>

Volodymyr Lysak

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6565-2793>

Andrii Chorny

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7424-0264>

Ihor Sieliverstov

Kherson National Technical University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-6135-8165>

Igor Smirnov

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1818-7403>

This study explores the process of the inductively coupled plasma spheroidization of aluminum powder. The task addressed relates to the complexity of spheroidization of low-melting materials, as well as to the growing need to use spheroidized powders from new materials in additive manufacturing, powder metallurgy, and gas-thermal coating.

To define the process of particle spheroidization, a comprehensive approach was used, including experimental studies, analytical description of thermal processes, and numerical modeling using the COMSOL Multiphysics software environment.

Based on the simulation results, parameters of the inductively coupled plasma, the regularities of heating, melting and crystal-

lization of aluminum powder particles were determined. It was found that the full cycle of heating to the melting temperature and phase transition occurs over an extremely short time – on the order of 10^{-5} s to 10^{-4} s for a particle with a diameter of 50 μm . The temperature gradients inside the particles are insignificant, which contributes to their uniform melting and the formation of a spherical shape under the influence of surface tension forces. The key factors of the process are the plasma temperature and the time the particles spend in the high-temperature zone.

The simulation results made it possible to establish technological modes of spheroidization: inductor current 40–42 A, current frequency 1.76 MHz, gas flow rate 5 l/s, gas pressure at the plasmatron inlet 13×10^{-3} MPa. The adequacy of the proposed modeling was confirmed by obtaining aluminum powder with a high degree of spheroidization (from 95% to 98%).

The model built could be used to predict the process parameters and its further optimization in order to obtain spherical powders from other materials and fractions.

Keywords: spheroidization, aluminum powder, additive manufacturing, simulation, inductively coupled plasma.

References

- Vafadar, A., Guzzomi, F., Rassau, A., Hayward, K. (2021). Advances in Metal Additive Manufacturing: A Review of Common Processes, Industrial Applications, and Current Challenges. *Applied Sciences*, 11 (3), 1213. <https://doi.org/10.3390/app11031213>
- Boulos, M. (2004). Plasma power can make better powders. *Metal Powder Report*, 59 (5), 16–21. [https://doi.org/10.1016/s0026-0657\(04\)00153-5](https://doi.org/10.1016/s0026-0657(04)00153-5)
- Vert, R., Pontone, R., Dolbec, R., Dionne, L., Boulos, M. I. (2016). Induction Plasma Technology Applied to Powder Manufacturing: Example of Titanium-Based Materials. *Key Engineering Materials*, 704, 282–286. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.704.282>
- Getto, E., Santucci, R. J., Gibbs, J., Link, R., Retzlaff, E., Baker, B. et al. (2023). Powder plasma spheroidization treatment and the characterization of microstructure and mechanical properties of SS 316L powder and L-PBF builds. *Heliyon*, 9 (6), e16583. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16583>
- Sehhat, M. H., Sutton, A. T., Hung, C.-H., Brown, B., O'Malley, R. J., Park, J., Leu, M. C. (2022). Plasma spheroidization of gas-atomized 304L stainless steel powder for laser powder bed fusion process. *Materials Science in Additive Manufacturing*, 1 (1), 1. <https://doi.org/10.18063/msam.v1i1.1>
- Yanko, T., Ovchinnikov, A., Lyutyk, N., Korzhyk, V. (2018). Technology for obtaining of plasma spheroidised hdh titanium alloy powders used in 3D printing. *Technological Systems*, 85 (4). <https://doi.org/10.29010/085.7>
- Bao, Q., Yang, Y., Wen, X., Guo, L., Guo, Z. (2021). The preparation of spherical metal powders using the high-temperature remelting spheroidization technology. *Materials & Design*, 199, 109382. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109382>
- Kuzmichev, A., Maikut, S., Sydorenko, S. (2024). Study of Near-Threshold Power Discharge in Miniature Low-Pressure Microwave Induction Plasmatron. *Radioelectronics and Communications Systems*, 67 (3), 157–160. <https://doi.org/10.3103/s0735272724010059>
- Kuzmichev, A. I., Smirnov, I. V., Tsybulsky, L. Yu. (2025). Study of plasma electron source with multi-cell hollow cathode. *Problems of Atomic Science and Technology*, 4 (158), 22–24. <https://doi.org/10.46813/2025-158-022>
- Sharma, S., Krishna, K. V. M., Joshi, S. S., Rabbi, I. A. F., Nartu, M. S. K. K. Y., Banerjee, R., Dahotre, N. B. (2025). Multi-scale numerical modeling of inductively coupled plasma spheroidization of refractory tungsten powders for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 105, 104801. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2025.104801>
- Sehhat, M. H., Chandler, J., Yates, Z. (2022). A review on ICP powder plasma spheroidization process parameters. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 103, 105764. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105764>
- Iovane, P., Borriello, C., Pandolfi, G., Portofino, S., Rametta, G., Tamaro, L. et al. (2024). Thermal Plasma Spheroidization and Characterization of Stainless Steel Powders Using Direct Current Plasma Technology. *Plasma*, 7 (1), 76–90. <https://doi.org/10.3390/plasma7010006>
- Yu, X., Yang, J., Wang, G., Yu, Q., Deng, Y., Yu, W. (2025). Study on the Preparation of Metallic Aluminum Powder by Nitrogen Atomization. *Processes*, 13 (10), 3264. <https://doi.org/10.3390/pr13103264>
- Andreytsev, A. Yu., Smyrnov, I. V., Chorny, A. V., Minakov, S. N. (2021). Modeling the process of spheroidization powder particles by the plasma-arc method. *Applied Questions of Mathematical Modeling*, 4 (2.2), 25–32. <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.2.2.2>
- COMSOL Multiphysics®. Available at: <https://www.comsol.com>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356687

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ЦЕОЛІТУ ТА ФІБРИ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПЛАСТИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ (с. 6–17)

О. Д. Довгань

Об'єктом дослідження є цементно-пластифіковане тісто для виготовлення на його основі декоративного бетону. З огляду на складні умови експлуатації бетону в архітектурних виробках важливим є забезпечити збереження його функціональних властивостей. Через те, що мікроструктура матеріалу виробів є досить невпорядкованою системою, що складається з різних за складом підструктур і несущільностей, необхідним є оптимізувати процес утворення кластерних агрегатів і їх міжчасткову взаємодію.

В статті розглядаються питання, пов'язані з дослідженням впливу модифікаторів і фібри на процеси структуроутворення 25-ти паст. Аналіз зміни реологічних параметрів показав, залежно від складу дискретних часток і їх модифікації можна суттєво покращити силу зчеплення й енергію взаємодію агрегатів. З'ясовано, що при заміні частини цементу цеолітом у високо-пластифікованих неармованих системах, пластична міцність зростає у 11.5 раз, а швидкість її росту в точці 2 кПа збільшується в 1.7 раз. Встановлено, що із дискретних волокон суттєвий вплив на початковий процес структуроутворення паст здійснює коротка фібра, особливо на складах з низьким рівнем модифікації в'язучих систем. Збільшення вмісту коротких волокон при одночасному зниженні довгих забезпечує зростання пластичної міцності та швидкості, відповідно, у 4.2 та 3.3 разів.

Використання кінетичних рівнянь процесів структуроутворення спільно з експериментально-статистичними моделями для аналізу впливу рецептурних факторів на реологічні показники є доцільним при розробці раціональних складів в'язучого тіста для декоративних бетонів. Розроблені склади цементного тіста, за умови комплексного аналізу й оптимізації параметрів структури в'язучого каменю, будуть впроваджені в практику виготовлення бетону для архітектурних виробів.

Ключові слова: цементна паста, фібробетон, пуцоланова активність, експериментально-статистична модель, декоративний бетон.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359357

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПАЯНИХ З'ЄДНАНЬ ВОЛЬФРАМУ ТА ВУГЛЕЦЬ-ВУГЛЕЦЕВОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ (с. 18–28)

Р. М. Губа, Л. В. Камкіна, С. І. Буштрук, А. А. Троян, С. Ю. Асмоловський, С. Ю. Ославський

Об'єктом дослідження є експериментально отримані паяні з'єднання вуглець-вуглецевого композитного матеріалу (ВВКМ) та вольфраму у вакуумі.

Проблема, що вирішується, полягає в одержанні високотемпературних паяних з'єднань, працездатних за температур 1400–1600°C у вакуумі в умовах високих термоциклічних навантажень. Існуючі методи з'єднання ВВКМ з вольфрамом вказують на практично відсутній досвід паяння таких матеріалів, особливо для конструкцій термостійкого обладнання.

У роботі застосовано метод створення зони металізованого шару з частковим плавленням із застосуванням суміші порошків Ti-Nb-Zr на внутрішній поверхні зразку ВВКМ. Після цього зразки ВВКМ та вольфраму паялись припоєм системи Ti-Nb за температури 1840°C у вакуумі.

Отримані результати дослідження мікроструктури дозволили визначити, що паяне з'єднання характеризується зональним типом утворення. Зона I – реакційний карбідний шар (ширина 10–12 мкм), зона II – дифузійний шар (ширина до 70 мкм), зона III – реакційний шар прилеглий до вольфраму (ширина до 30 мкм). Результат моделювання фазоутворення, проведеного за температури 1840°C, вказує на переважне утворення: TiC, NbC, Nb₆C₅, Nb₂C. Також, визначено розподіл C, Ti, Nb, W у паяному з'єднанні. Результати дослідження мікротвердості дозволили підтвердити коректність проведеного моделювання та визначити, що показники мікротвердості знижуються від зони I (2300 HV) до зони III (500–600 HV).

Запропоновані рішення доводять, що зона металізованого шару сприяє утриманню припою в зазорі шву, зменшує термомеханічні навантаження, сприяє утворенню поступового градієнту мікротвердості. Сукупність цих характеристик покращує пластичні властивості паяного з'єднання.

Отримані результати дослідження можуть застосовуватись у сфері приладобудування, а саме в деталях катодів, емітер яких виготовлений із ультрадисперсних порошків боридів рідкоземельних матеріалів або їх сплавів.

Ключові слова: вуглець-вуглецевий композитний матеріал, паяння у вакуумі, вольфрам, фазоутворення, катод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359307

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ІНДУКЦІЙНО-ПЛАЗМОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СФЕРОЇДИЗАЦІЇ АЛЮМІНІЄВОГО ПОРОШКУ (с. 29–38)

М. П. Лютик, М. О. Скульський, С. О. Майкут, А. І. Кузьмичев, В. М. Пащенко, В. В. Лисак, А. В. Чорний, І. А. Селіверстов, І. В. Смирнов

Об'єктом цього дослідження є процес високочастотної індукційно-плазмової сфероїдизації алюмінієвого порошку. Необхідність роботи викликана складністю сфероїдизації легкоплавких матеріалів, а також зростанням потреб використання сфероїдизованих порошків з нових матеріалів у адитивному виробництві, порошкової металургії та газотермічному нанесенні покриттів.

Для визначення процесу сфероїдизації частинок використано комплексний підхід, що включає експериментальні дослідження, аналітичне описання теплових процесів та чисельне моделювання із застосуванням програмного середовища COMSOL Multiphysics.

За результатами моделювання були визначені параметри високочастотної індукційної плазми, закономірності нагріву, плавлення і кристалізації частинок алюмінієвого порошку. Встановлено, що повний цикл нагріву до температури плавлення та фазового переходу відбувається за надзвичайно короткий час – порядку від 10^{-5} с до 10^{-4} с. для частинки діаметром 50 мкм. Температурні градієнти всередині частинок є незначними, що сприяє їх рівномірному плавленню та формуванню сферичної форми під дією сил поверхневого натягу. Ключовими факторами процесу є температура плазми і час перебування частинок у високотемпературній зоні. Отримані результати моделювання дозволили встановити технологічні режими сфероїдизації: струм індуктора 40–42 А, частота струму 1,76 МГц, витрата газу рівні 5 л/с, тиск газу на вході плазмотрону 13×10^{-3} МПа. Адекватність запропонованого моделювання підтверджено отриманням порошку алюмінію з високим ступенем сфероїдизації (від 95% до 98%).

Розроблена модель може бути використана для прогнозування параметрів процесу та його подальшої оптимізації з метою отримання сферичних порошків із інших матеріалів і фракцій.

Ключові слова: сфероїдизація, алюмінієвий порошок, адитивне виробництво, комп'ютерне моделювання, високочастотна індукційна плазма.