

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318553

## DEVISING A TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING HOLLOW CAST STEEL STRUCTURES WITH COMPOSITE AND REINFORCED NON-METALLIC FUNCTIONAL FILLER (p. 6–14)

Oleg Shinsky

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6200-0709>

Iuliia Kvasnytska

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3790-2035>

Inna Shalevska

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>

Pavlo Kaliuzhnyi

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1111-4826>

Oleksandr Neima

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5438-7253>

The object of this study is the structure of hollow steel modules filled with various types of functional materials, as well as the technology of their production using lost foam casting.

Computer simulation of hydrodynamic and heat-mass exchange processes and solidification was carried out to establish the laws and prerequisites for designing state-of-the-art hollow cast structures and to devise their production technology. The study investigated the influence of reinforced steel elements and reinforcement directly from the liquid alloy of the shell on the peculiarities of hydrodynamic, heat-mass transfer processes, and solidification during the production of hollow steel structures with functional fillers.

It has been determined that the presence of polystyrene membranes in the functional filler for subsequent reinforcement from the liquid phase of the shell metal affects the hydrodynamics of filling the casting. In the thin channels formed in the filler, the metal flow rate increases from 2 m/s to 8 m/s in the upper channels, and from 3 m/s to 12 m/s in the lower channels, which is associated with an increase in metallostatic pressure.

The presence of metal reinforcement in the functional filler and the reinforcement of the functional material from the liquid phase of the shell metal accelerates the heating of the non-metallic filler by 1.2–1.4 and 1.4–1.8 times, respectively. Reinforcement also helps increase the maximum heating temperature of the functional filler by 200–300 °C, which creates better conditions for its sintering.

The grades of steels for their use as a matrix alloy in the production of hollow cast castings were determined; their structure and physical-mechanical properties were studied. The recommended modes of heat treatment of low-alloy steel to obtain the required properties have been determined.

The study reported here is a theoretical prerequisite for verification in the manufacture of experimental cast hollow structures with metallic and non-metallic reinforcing phase.

**Keywords:** reinforced steel casting, computer simulation, lost foam casting.

## References

- Singla, Y. K., Maughan, M. R., Arora, N., Dwivedi, D. K. (2024). Enhancing the wear resistance of iron-based alloys: A comprehensive review of alloying element effects. *Journal of Manufacturing Processes*, 120, 135–160. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.04.038>
- Bhadeshia, H. K. D. H., Honeycombe, R. W. K. (2024). *Stainless steel. Steels*, 347–381. <https://doi.org/10.1016/b978-0-44-318491-8.00018-6>
- Azeem Ullah, M., Cao, Q. P., Wang, X. D., Ding, S. Q., Abubaker Khan, M., Zhang, D. X., Jiang, J. Z. (2024). Carbon effect on tensile and wear behaviors for a dual-phase Fe61.5Cr17.5Ni13Al8 alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 914, 147128. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.147128>
- Kvasnytska, Y. H., Shalevska, I. A., Balitskii, A. I., Ivaskevich, L. M., Maksiuta, I. I., Kvasnytska, K. H. (2024). Influence of Refractory Elements on Phase-Structural Stability of Heat-Resistant Corrosion-Resistant Alloys for Gas Turbine Blades. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 45 (8), 975–992. <https://doi.org/10.15407/mfint.45.08.0975>
- Raabe, D., Sun, B., Kwiatkowski Da Silva, A., Gault, B., Yen, H.-W., Sedighiani, K. et al. (2020). Current Challenges and Opportunities in Microstructure-Related Properties of Advanced High-Strength Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 51 (11), 5517–5586. <https://doi.org/10.1007/s11661-020-05947-2>
- Wakai, E., Noto, H., Shibayama, T., Furuya, K., Ando, M., Kamada, T. et al. (2024). Microstructures and hardness of BCC phase iron-based high entropy alloy Fe-Mn-Cr-V-Al-C. *Materials Characterization*, 211, 113881. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2024.113881>
- Glotka, A., Byelikov, S., Lysytsya, O. (2024). Modeling of carbide formation in alloy of the Ni-Cr-Co-W-Mo-Al-Ti-C system. *Acta Metallurgica Slovaca*, 30 (1), 15–18. <https://doi.org/10.36547/ams.30.1.1991>
- ASTM A732/A732M-20. Specification for Castings, Investment, Carbon and Low Alloy Steel for General Application, and Cobalt Alloy for High Strength at Elevated Temperatures. [https://doi.org/10.1520/a0732\\_a0732m-20](https://doi.org/10.1520/a0732_a0732m-20)
- Zewdie, F., Srivastava, A., Punia, R., Bhatnagar, N. (2024). Experimental investigation on the development of hybrid composite metal foam reinforced with steel hollow spheres for higher energy absorption applications. *Journal of Manufacturing Processes*, 123, 60–82. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.05.046>
- Kaliuzhnyi, P., Shalevska, I., Sliusarev, V. (2023). Microstructure of Reinforced Cast Iron Produced by Lost Foam Casting. *Archives of Metallurgy and Materials*, 68 (4), 1369–1375. <https://doi.org/10.24425/amm.2023.146202>
- Kota, N., Charan, M. S., Laha, T., Roy, S. (2022). Review on development of metal/ceramic interpenetrating phase composites and critical analysis of their properties. *Ceramics International*, 48 (2), 1451–1483. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.09.232>
- Dulska, A., Studnicki, A., Cholewa, M., Szajnar, J. (2018). Cast Iron Reinforced with Foaming Ceramic Insert. *Archives of Foundry Engineering*, 18 (2), 137–140. <https://doi.org/10.24425/122516>
- Wróbel, T., Przyszlak, N., Dulska, A. (2019). Technology of Alloy Layers on Surface of Castings. *International Journal of Metalcasting*, 13 (3), 604–610. <https://doi.org/10.1007/s40962-018-00304-x>
- Dulska, A., Szajnar, J., Król, M. (2020). Analysis of the Mechanical Properties of the Titanium Layer Obtained by the Mold Cavity Preparation Method. *Archives of Metallurgy and Materials*, 66 (1), 51–56. <https://doi.org/10.24425/amm.2021.134758>
- Narivskiy, A., Shinsky, O., Shalevska, I., Kvasnytska, J., Kaliuzhnyi, P., Polivoda, S. (2023). Modern technological processes of obtaining cast products and structures of responsible purpose from aluminum, ferrous carbon and heat-resistant alloys. *Structural Ma-*

- terials: Manufacture, Properties, Conditions of Use, 32–67. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-97-8.ch2>
16. Narivskiy, A., Shinsky, O., Shalevska, I., Kvasnytska, J., Kaliuzhnyi, P., Polivoda, S. (2023). The influence of external actions and methods of alloying alloys on the operational characteristics of cast products. *Structural Materials: Manufacture, Properties, Conditions of Use*, 121–157. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-97-8.ch4>
  17. Shinsky, O., Shalevska, I., Kaliuzhnyi, P., Shinsky, V., Lysenko, T., Shevchuk, T. et al. (2018). Principles of construction and identification of a multilevel system for monitoring parameters of technological cycle of casting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (95)), 25–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141303>
  18. Steel and steel products: Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing (1997). ISO 37:1997. ISO. Available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/4356/857afeb6d0754ba69790e97261f95488/ISO-377-1997.pdf>
  19. Steels: Micrographic determination of the ferritic or austenitic grain size (1983). ISO 643:1983. ISO. Available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/4773/6ad7e45fca0d4daa86654405f6e2d12e/ISO-643-1983.pdf>
  20. DSTU 8966:2019. Stal. Metalohrafichni metody vyznachennia nemetalevykh vkluchchen. Available at: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88067](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88067)
  21. DSTU 8972:2019. Stali ta splavy. Metody vyivlennia ta vyznachennia velychyny zerna. Available at: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88073](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88073)
  22. Steel castings – General technical delivery requirements (2023). ISO 4990:2023. ISO. Available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/4185/33d9639ba3db417ab01fe2a41751f295/ISO-4990-2023.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318552

**DETERMINING RATIONAL COMPLEX MODIFYING AND ALLOYING ADDITIVES TO IMPROVE THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF GRAY CAST IRON (p. 15–23)**

**Stepan Klymenko**

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2431-451X>

**Anatolii Verkhovliuk**

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-4052>

**Artur Sevoian**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7966-2545>

**Oleg Akimov**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7583-9976>

**Olga Ponomarenko**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3043-4497>

**Pavlo Penziev**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0402-9575>

The object of this study is the mechanical properties and parameters of the cast iron microstructure. The task to solve was to ensure high mechanical properties of cast iron for mechanical engineering

part. To this end, a working hypothesis was put forward, which assumed the possibility of increasing mechanical properties by selecting complex additives based on modifiers and alloying ferroalloys.

The effect of 4 groups of additives was investigated: group 1 – ferrochrome (FeCr025) and silicocalcium (SiCa-30), group 2 – ferrotitanium (FTi35) and ferroboral (FeB6), group 3 – ferrotitanium (FTi35) and ferrochrome (FeCr025), group 4 – ferroboral (FeB6) and silicocalcium (SiCa-30). They were introduced into the liquid metal in different percentages in the amount of 3 % of the mass of liquid cast iron. The following mechanical characteristics were selected: flexural strength ( $\sigma$ , MPa), tensile strength ( $UTS$ , MPa), deflection arrow ( $f$ , mm), hardness ( $HB$ ), and whitening.

It was determined that the strength characteristics of cast iron treated with ferroalloys of group 1 reach a maximum at about 40 % silicocalcium in the composition of the additive. The tensile strength of cast iron reaches about 320 MPa, the bending strength is about 710 MPa, the deflection arrow is 4.5 mm, and the hardness corresponds to the HB250 level. The fact of competition of hardness and other mechanical properties was established in the range of silicocalcium content in the modifier composition up to 40 %. Thus, it was established that it is the combination FeCr025+SiCa-30 with the ratio of components of 40:60, respectively, that is rational.

The revealed regularities of changes in the amount of carbides, the size of graphite, and the amount of ferrite when using different additives allow us to explain patterns in the formation of mechanical properties of cast irons. Owing to this, it becomes possible to identify the mechanism of formation of properties, ensuring purposeful regulation of the quality of cast iron.

The results could be used at iron foundries to produce castings for machine building.

**Keywords:** mechanical characteristics of cast iron, modifiers of cast iron, alloying, microstructure of cast iron, graphitizing and carbide-forming elements.

**References**

1. Khilchevskiy, V. V. (2002). *Materialoznavstvo i tekhnolohiya konstruktivnykh materialiv*. Kyiv: Lybid, 328.
2. Demin, D. A., Pelikh, V. F., Ponomarenko, O. I. (1995). Optimization of the method of adjustment of chemical composition of flake graphite iron. *Litejnoe Proizvodstvo*, 7-8, 42–43.
3. Demin, D. A., Pelikh, V. F., Ponomarenko, O. I. (1998). Complex alloying of grey cast iron. *Litejnoe Proizvodstvo*, 10, 18–19.
4. Demin, D. A. (1998). Change in cast iron's chemical composition in inoculation with a Si-V-Mn master alloy. *Litejnoe Proizvodstvo*, 6, 35.
5. Ripsan, I., Chisamera, M., Stan, S. (2014). New developments in high quality grey cast irons. *China Foundry*, 11 (4), 351–364.
6. Demin, D. (2020). Constructing the parametric failure function of the temperature control system of induction crucible furnaces. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 19–32. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001489>
7. Demin, D., Domin, O. (2021). Adaptive technology for constructing the kinetic equations of reduction reactions under conditions of a priori uncertainty. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 14–29. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001959>
8. Fourlakidis, V., Diószegi, A. (2014). A generic model to predict the ultimate tensile strength in pearlitic lamellar graphite iron. *Materials Science and Engineering: A*, 618, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.08.061>
9. Dymko, I. (2018). Choice of the optimal control strategy for the duplex-process of induction melting of constructional iron. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 3–13. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00669>
10. Borsato, T., Berto, F., Ferro, P., Carollo, C. (2016). Effect of in-mould inoculant composition on microstructure and fatigue behaviour of

- heavy section ductile iron castings. *Procedia Structural Integrity*, 2, 3150–3157. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.393>
11. Demin, D. (2017). Strength analysis of lamellar graphite cast iron in the «carbon (C) – carbon equivalent (Ceq)» factor space in the range of C = (3,425–3,563) % and Ceq = (4,214–4,372) %. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (1 (33)), 24–32. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.93178>
  12. Demin, D. (2017). Synthesis of nomogram for the calculation of suboptimal chemical composition of the structural cast iron on the basis of the parametric description of the ultimate strength response surface. *ScienceRise*, 8, 36–45. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.109175>
  13. Demin, D. (2018). Investigation of structural cast iron hardness for castings of automobile industry on the basis of construction and analysis of regression equation in the factor space «carbon (C) - carbon equivalent (Ceq)». *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (41)), 29–36. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.109097>
  14. Thilak, G., Chandramohan, P., Saravanan, V. S. (2023). Influence of alloying elements and its effect on austempering of compacted graphite iron – A review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.119>
  15. Demin, D., Frolova, L. (2024). Construction of a logical-probabilistic model of casting quality formation for managing technological operations in foundry production. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 104–118. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003518>
  16. Aubakirov, D. R., Issagulov, A. Z., Akberdin, A. A., Kvon, Sv. S., Kulikov, V. Yu., Arinova, S. K. et al. (2022). Influence of boron- and barium-containing modifiers on the structure of low-chromium cast iron. *Heliyon*, 8 (11), e11496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11496>
  17. Aguado, E., Ferrer, M., Larrañaga, P., Stefanescu, D. M., Suárez, R. (2019). The Effect of the Substitution of Silicon by Aluminum on the Properties of Lamellar Graphite Iron. *International Journal of Metalcasting*, 13 (3), 536–545. <https://doi.org/10.1007/s40962-018-00303-y>
  18. Frolova, L., Shevchenko, R., Shpyh, A., Khoroshailo, V., Antonenko, Y. (2021). Selection of optimal Al–Si combinations in cast iron for castings for engineering purposes. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 99–107. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001694>
  19. Popov, S., Frolova, L., Rebrov, O., Naumenko, Y., Postupna, O., Zubko, V., Shvets, P. (2022). Increasing the mechanical properties of structural cast iron for machine-building parts by combined Mn – Al alloying. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 118–130. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002243>
  20. Lysenkov, V., Demin, D. (2022). Reserves of resource saving in the manufacture of brake drums of cargo vehicles. *ScienceRise*, 3, 14–23. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002551>
  21. Nikolaiev, D. (2022). Procedure for selecting a rational technological mode for the processing of cast iron melt on the basis of graph-analytical processing of the data of serial smeltings. *ScienceRise*, 5, 3–13. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002774>
  22. Frolova, L., Barsuk, A., Nikolaiev, D. (2022). Revealing the significance of the influence of vanadium on the mechanical properties of cast iron for castings for machine-building purpose. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (66)), 6–10. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.263428>
  23. Nikolaev, D. (2024). The choice of rational adjustment of the chemical composition of iron melted in an electric arc furnace on the basis of technological audit of serial films. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (1 (76)), 22–26. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.301259>
  24. Demin, D. (2017). Synthesis of optimal control of technological processes based on a multialternative parametric description of the final state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (87)), 51–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.105294>
  25. Verkhovliuk, A. M., Narivskiy, A. V., Mohylatenko, V. H. (2016). *Tekhnolohiyi oderzhannya metaliv ta splaviv dlia lyvarnoho vyrobnytstva*. Kyiv: Vydavnychiy dim «Vinichenko», 224. Available at:

<https://foundry.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/03/tehnolohiyi-oderzhannya-metaliv.pdf>

26. Biletskyi, V. S. (Ed.) (2004). *Mala hirnycha entsyklopediya*. Vol. 1. Donetsk: Donbas, 670.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317205

**IDENTIFYING THE EFFECT OF SODIUM DODECYLBENZENE SULFONATE SURFACTANT AND DISPERSED PCB-BASED PARTICLES AS A NOVEL HEAT TREATMENT QUENCHANT ON THE HARDNESS OF S45C MEDIUM CARBON STEEL (p. 24–33)**

**Wahyuaji Narottama Putra**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0294-3606>

**Myrna Ariati**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1711-3867>

**Eddy Sumarno Siradj**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5928-9625>

**Bambang Suharno**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9029-2726>

In this study, the effect of Sodium Dodecylbenzene Sulfonate (SDBS) addition as a surfactant on the performance of the Printed Circuit Board (PCB) particle-dispersed quenchant in terms of thermal conductivity, particle stability, the microstructure and hardness of S45C medium carbon steel has been investigated. Conventional quenchants have fixed, uncontrollable cooling rates. Adding solid particles creates a thermal bridge, enabling adjustable cooling rates to address this limitation. The solid particles in the quenchant were synthesized from PCB. The surfactant helps to improve particle dispersion and avoid agglomeration by modifying the surface tension between the particles and the fluid. PCB particle-dispersed media have been prepared and used as quenchants to study the effect of PCB dispersion, and its concentrations on the heat transfer rate during quenching. Based on this research results, particle stability measurement by zeta potential shows the stability improvement up to –21.53 mV after 7wt % of surfactant addition, compared to distilled water. Due to the better particle dispersion, the thermal conductivity of the quenchant is also improved by 39 %, maximized at 0.82 W/mK when compared with the quenchant without surfactant at only 0.61 W/mK. Furthermore, the quenched steel hardness also increases by 29 %, maximized at 58 HRC at 7wt % surfactant and 0.3wt % PCB particles composition. The Dispersed PCB particles in the quenchant allow the heat flow from high to lower temperature efficiently. The experimental results show that a water-based quench medium with PCB particle dispersion is an alternative quench medium to obtain a more controlled cooling rate in steel heat treatment and is one solution for utilizing PCB electronic waste.

**Keywords:** waste printed circuit board, sodium dodecylbenzene sulfonate, heat treatment, quenching process, S45C medium carbon steel.

**References**

1. Putra, W. N., Pramaditya, P., Pramuka, P., Mochtar, M. A. (2018). Effect of Sub Zero Treatment on Microstructures, Mechanical Properties, and Dimensional Stability of AISI D2 Cold Work Tool Steel. *Materials Science Forum*, 929, 136–141. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.929.136>
2. Araghchi, M., Mansouri, H., Vafaei, R. (2016). The Effects of Quenching Media and Aging on Residual Stress and Mechanical Properties of 2024



- Aluminum Alloy. Proceedings of Iran International Aluminum Conference (IIAC2016). Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Masoud-Araghchi/publication/303034408\\_The\\_Effects\\_of\\_Quenching\\_Media\\_and\\_Aging\\_on\\_Residual\\_Stress\\_and\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_2024\\_Aluminum\\_Alloy/links/5735e4eb08ae9ace840ae642/The-Effects-of-Quenching-Media-and-Aging-on-Residual-Stress-and-Mechanical-Properties-of-2024-Aluminum-Alloy.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Masoud-Araghchi/publication/303034408_The_Effects_of_Quenching_Media_and_Aging_on_Residual_Stress_and_Mechanical_Properties_of_2024_Aluminum_Alloy/links/5735e4eb08ae9ace840ae642/The-Effects-of-Quenching-Media-and-Aging-on-Residual-Stress-and-Mechanical-Properties-of-2024-Aluminum-Alloy.pdf)
3. Eissa, A. H., Hasan, H. S. (2020). Simulation and Experimental Investigation Quenching Behavior of Medium Carbon Steel in Water Based Multi Wall Carbon Nanotube Nanofluids. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 23 (2), 137–143. <https://doi.org/10.29194/njes.23020137>
  4. Babu, K., Arularasan, R., Srinath Ramkumar, S. (2017). Quenching performance of AISI 1010 in CNT nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, 4 (10), 11044–11049. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.065>
  5. Mairizal, A. Q., Sembada, A. Y., Tse, K. M., Rhamdhani, M. A. (2021). Electronic waste generation, economic values, distribution map, and possible recycling system in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126096. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126096>
  6. Ordóñez, F., Chejne, F., Pabón, E., Cacia, K. (2020). Synthesis of ZrO<sub>2</sub> nanoparticles and effect of surfactant on dispersion and stability. *Ceramics International*, 46 (8), 11970–11977. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.01.236>
  7. Yahya, S. S., Harjanto, S., Putra, W. N., Ramahdita, G., Kresnodrianto, Mahiswara, E. P. (2018). Characterization and observation of water-based nanofluids quench medium with carbon particle content variation. *AIP Conference Proceedings*, 1964, 020006. <https://doi.org/10.1063/1.5038288>
  8. Jehhef, K. A., Al Abas Siba, M. A. (2019). Effect of surfactant addition on the nanofluids properties: a review. *Acta Mechanica Malaysia*, 2 (2), 01–19. <https://doi.org/10.26480/amm.02.2019.01.19>
  9. Khaleduzzaman, S. S., Mahbulbul, I. M., Shahrul, I. M., Saidur, R. (2013). Effect of particle concentration, temperature and surfactant on surface tension of nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 49, 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.10.010>
  10. Putra, W. N., Ariati, M., Suharno, B., Noviyanto, A., Riko, I. M. (2024). Effect of Multi-walled Carbon Nanotube and Polyethylene Glycol Addition in Nanofluid Quench Medium for Steel Heat Treatment Application. *International Journal of Technology*, 15 (2), 364. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i2.6690>
  11. Hubau, A., Chagnes, A., Minier, M., Touzé, S., Chapron, S., Guezennec, A.-G. (2019). Recycling-oriented methodology to sample and characterize the metal composition of waste Printed Circuit Boards. *Waste Management*, 91, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.041>
  12. Qiu, R., Lin, M., Qin, B., Xu, Z., Ruan, J. (2021). Environmental-friendly recovery of non-metallic resources from waste printed circuit boards: A review. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123738. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123738>
  13. Choi, S. U. S., Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29. Argonne National Lab., IL (United States), 9. Available at: [https://ecotert.com/pdf/196525\\_From\\_unt-edu.pdf](https://ecotert.com/pdf/196525_From_unt-edu.pdf)
  14. Yang, S., Jiang, J., Wang, Q. (2020). The novel application of nonmetals from waste printed circuit board in high-performance thermal management materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 139, 106096. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106096>
  15. Jadhav, U., Hocheng, H. (2015). Hydrometallurgical Recovery of Metals from Large Printed Circuit Board Pieces. *Scientific Reports*, 5 (1). <https://doi.org/10.1038/srep14574>
  16. Cacia, K., Ordóñez, F., Zapata, C., Herrera, B., Pabón, E., Buitrago-Sierra, R. (2019). Surfactant concentration and pH effects on the zeta potential values of alumina nanofluids to inspect stability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 583, 123960. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123960>
  17. Zhang, J., Ge, D., Wang, X., Wang, W., Cui, D., Yuan, G. et al. (2021). Influence of Surfactant and Weak-Alkali Concentrations on the Stability of O/W Emulsion in an Alkali-Surfactant–Polymer Compound System. *ACS Omega*, 6 (7), 5001–5008. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06142>
  18. Paramashivaiah, B. M., Rajashekhar, C. R. (2016). Studies on effect of various surfactants on stable dispersion of graphene nano particles in simarouba biodiesel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149, 012083. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/149/1/012083>
  19. Jafarian, H. R., Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S. H., Eivani, A. R., Park, N. (2021). The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 819–831. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.003>
  20. Yaghoobi, F., Jamaati, R., Jamshidi Aval, H. (2021). Simultaneous enhancement of strength and ductility in ferrite-martensite steel via increasing the martensite fraction. *Materials Chemistry and Physics*, 259, 124204. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124204>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317952

**DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTIONAL POLYMER COMPOSITES WITH HIGH RED MUD CONTENT (p. 34–43)**

**Liubov Melnyk**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5139-3105>

**Valentín Sviderskyy**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4457-6875>

Red mud (RM) is one of the large-scale by-products of alumina production, posing significant environmental challenges due to its high alkalinity, toxicity, and substantial accumulation volumes. The object of this study is polymer composite based on styrene-butadiene aqueous dispersion with RM and chamotte (Pa2) as fillers at high concentrations (up to 90 wt. %). The primary problem addressed in this research is finding effective ways to utilize RM as secondary raw material to enhance its recycling efficiency and create multifunctional materials with adjustable properties.

The study established that RM has an irregular plate-like structure with a high active surface area, which facilitates the formation of an open porous composite structure, while Pa2 forms a dense matrix due to its aluminosilicate content. Infrared spectral analysis confirmed the presence of functional groups (OH, Si–O, Al–O) that ensure the interaction of fillers with the polymer matrix. Thermogravimetric analysis demonstrated that RM and Pa2 exhibit similar behavior under heating. Mechanical tests revealed that RM-based composites exhibit high plasticity and energy absorption capacity, whereas Pa2-based composites are characterized by greater stiffness and strength (elastic modulus up to 129.8 MPa).

The results indicate that the choice of filler type and concentration effectively regulates composite properties. The proposed approach enables the recycling of industrial waste and the development of multifunctional materials suitable for use in construction, protective coatings, and the production of structural elements capable of withstanding significant loads.

**Keywords:** red mud, polymer composite, technogenic fillers, industrial waste, specific surface area.

**References**

1. Ahmed, S., Meng, T., Taha, M. (2020). Utilization of red mud for producing a high strength binder by composition optimization and nano

- strengthening. *Nanotechnology Reviews*, 9 (1), 396–409. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0029>
2. Power, G., Gräfe, M., Klauber, C. (2011). Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices. *Hydrometallurgy*, 108 (1-2), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.02.006>
  3. Liu, S., Guan, X., Zhang, S., Dou, Z., Feng, C., Zhang, H., Luo, S. (2017). Sintered bayer red mud based ceramic bricks: Microstructure evolution and alkalis immobilization mechanism. *Ceramics International*, 43 (15), 13004–13008. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.036>
  4. Zhang, M., Zhao, M., Zhang, G., Mann, D., Lumsden, K., Tao, M. (2016). Durability of red mud-fly ash based geopolymer and leaching behavior of heavy metals in sulfuric acid solutions and deionized water. *Construction and Building Materials*, 124, 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.108>
  5. Liu, R.-X., Poon, C.-S. (2016). Utilization of red mud derived from bauxite in self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112, 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.049>
  6. Mišik, M., Burke, I. T., Reismüller, M., Pichler, C., Rainer, B., Mišiková, K. et al. (2014). Red mud a byproduct of aluminum production contains soluble vanadium that causes genotoxic and cytotoxic effects in higher plants. *Science of The Total Environment*, 493, 883–890. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.052>
  7. Mesgari Abbasi, S., Rashidi, A., Ghorbani, A., Khalaj, G. (2016). Synthesis, processing, characterization, and applications of red mud/carbon nanotube composites. *Ceramics International*, 42 (15), 16738–16743. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.07.146>
  8. Liu, Y., Naidu, R. (2014). Hidden values in bauxite residue (red mud): Recovery of metals. *Waste Management*, 34 (12), 2662–2673. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.003>
  9. Liu, W., Yang, J., Xiao, B. (2009). Review on treatment and utilization of bauxite residues in China. *International Journal of Mineral Processing*, 93 (3-4), 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.08.005>
  10. Mukiza, E., Zhang, L., Liu, X., Zhang, N. (2019). Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.031>
  11. Abdel-Raheem, M., Santana, L. M. G., Cordava, M. A. P., Martínez, B. O. (2017). Uses of Red Mud as a Construction Material. *AEI 2017*, 388–399. <https://doi.org/10.1061/9780784480502.032>
  12. Carneiro, J., Tobaldi, D. M., Capela, M. N., Novais, R. M., Seabra, M. P., Labrincha, J. A. (2018). Synthesis of ceramic pigments from industrial wastes: Red mud and electroplating sludge. *Waste Management*, 80, 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.032>
  13. Mi, H., Yi, L., Wu, Q., Xia, J., Zhang, B. (2021). Preparation of high-strength ceramics from red mud, fly ash, and bentonite. *Ceramics International*, 47 (13), 18218–18229. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.141>
  14. Chen, Y., Li, A., Jiang, S. (2024). Wettability and Mechanical Properties of Red Mud–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites. *Materials*, 17 (5), 1095. <https://doi.org/10.3390/ma17051095>
  15. Melnyk, L., Svidersky, V., Chernyak, L., Dorogan, N. (2018). Aspects of making of a composite material when using red mud. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (92)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125702>
  16. Hendricks, H. L., Buchanan, V. E. (2020). Effect of material parameters on the mechanical properties of chemically treated red mud HDPE composites. *Polymers and Polymer Composites*, 29 (8), 1126–1134. <https://doi.org/10.1177/0967391120954064>
  17. Bhat, A. H., Abdul, H. P. S., K., A. (2011). Thermoplastic Polymer based Modified Red Mud Composites Materials. *Advances in Composite Materials - Ecodesign and Analysis*. <https://doi.org/10.5772/14377>
  18. Melnyk, L. I. (2023). Kompozyt na osnovi system sopolimer – chervonyi shlam. *Modern science: challenges of today*. Bratislava, 6–38. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67229>
  19. Melnyk, L. I., Cherniak, L. P., Yevpak, V. V. (2024). Composites based on fly ash with different polymer matrixes. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 2 (1), 106–112. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/18>
  20. Melnyk, L. (2024). Formation of composite with variation of dispersity of filler and type of binder. *Technical Sciences and Technologies*, 1 (35), 198–203. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-198-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-198-203)
  21. Brunauer, S., Emmett, P. H., Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60 (2), 309–319. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>
  22. Bodnar, R. T. (2016). Ekspres-metod vyznachennia kraiovoho kuta zmochuvannia porystykh til. *Metody ta pryklady kontroliu yakosti*, 1 (36), 30–38.
  23. Vovchenko, L., Matzui, L., Zhuravkov, A., Samchuk, A. (2006). Electrical resistivity of compacted TEG and TEG-Fe under compression. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67 (5-6), 1168–1172. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2006.01.042>
  24. Hubina, V. H., Kadoshnikov, V. M. (2005). Red mud from the Mykolaiv Alumina Plant – A valuable technogenic raw material. *Geological and Mineralogical Bulletin*, 2, 122–126.
  25. Palmer, S. J., Reddy, B. J., Frost, R. L. (2009). Characterisation of red mud by UV–vis–NIR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 71 (5), 1814–1818. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2008.06.038>
  26. Wang, Q., Wang, D., Chen, H. (2017). The role of fly ash microsphere in the microstructure and macroscopic properties of high-strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, 83, 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.07.021>

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317201

**DEVISING APPROACHES TO ADJUSTING A STRENGTH GAIN BY MODIFIED WHITE CEMENTS WITH DIFFERENT C<sub>3</sub>A CONTENT (p. 44–52)**

**Kateryna Pushkarova**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7640-8625>

**Liliia Kushnierova**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0759-4553>

**Larysa Tereshchenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9860-2226>

The object of this study is the mechanism for adjusting a strength gain by modified systems based on white cements with different C<sub>3</sub>A content.

Since white cements have an increased content of the C<sub>3</sub>A mineral, they are characterized by a drop in strength of up to 10 % in the late stages of hardening. To stabilize the properties of such cements, it is advisable to use modifying additives.

It has been established that when a plasticizing additive with a high C<sub>3</sub>A content is introduced into cement in a small amount (0.5..1 %), as a result of chemical interaction with the mineral C<sub>3</sub>A, its residue in the liquid phase is not enough to disperse silicate phases. This reduces viscosity of the system. That subsequently leads to a decline in the strength of cement stone, up to 15 %. At the same time, the addition of a plasticizing additive to a system with a low content of C<sub>3</sub>A turns out to be more effective even at a lower dosage.

Modification of cement systems with nano-CaCO<sub>3</sub> additives helps stabilize the phase composition of new formations and guar-

antees the durability of the resulting cement stone. Nano-CaCO<sub>3</sub> changes the composition of new formations toward more thermodynamically stable compounds. The introduction of a nano-CaCO<sub>3</sub> additive leads to a significant increase in the rate of hydration and creates conditions for the formation of carbonate ettringite. The latter contributes to the directed synthesis of low-base fibrous hydro-silicate phases, including tobermorite, and prevents the conversion of hydroaluminat phases, which eliminates the decline in strength in white cements with an increased content of C<sub>3</sub>A.

Applying modified systems will make it possible to stabilize the strength characteristics of not only white but also colored cements, the introduction of pigments to which leads to a decrease in their strength. This approach will make it possible to effectively use such systems as a basis for decorative concrete and mortars.

**Keywords:** nanomodified systems, white cements, C<sub>3</sub>A mineral, nano-CaCO<sub>3</sub> additives, structure formation processes.

## References

- Mohtasham Moein, M., Rahmati, K., Saradar, A., Moon, J., Karakou-zian, M. (2024). A Critical Review Examining the Characteristics of Modified Concretes with Different Nanomaterials. *Materials*, 17 (2), 409. <https://doi.org/10.3390/ma17020409>
- Shen, D., Kang, J., Shao, H., Liu, C., Li, M., Chen, X. (2023). Cracking failure behavior of high strength concrete containing nano-CaCO<sub>3</sub> at early age. *Cement and Concrete Composites*, 139, 104996. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.104996>
- Camiletti, J., Soliman, A. M., Nehdi, M. L. (2012). Effects of nano- and micro-limestone addition on early-age properties of ultra-high-performance concrete. *Materials and Structures*, 46 (6), 881–898. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9940-0>
- Mardani-Aghabaglou, A., Kankal, M., Nacar, S., Felekoglu, B., Ramyar, K. (2021). Assessment of cement characteristics affecting rheological properties of cement pastes. *Neural Computing and Applications*, 33 (19), 12805–12826. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05925-8>
- Karakuzu, K. Kobya, V., Mardani, A. (2022). Determination of Optimum Water Reducing Admixture Dosage and Water Content in the Measurement of Rheological Parameters of Paste Mixtures Having Different C3A Ratios. *European Journal of Science and Technology*, 37, 17–20. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1125646>
- Kim, T.-H., Ye, B., Jeong, B., Lee, M.-J., Song, A., Cho, I. et al (2024). Influence of CaCO<sub>3</sub> on Density and Compressive Strength of Calcium Aluminate Cement-Based Cementitious Materials in Binder Jetting. *Materials*, 17 (14), 3463. <https://doi.org/10.3390/ma17143463>
- Matschei, T., Lothenbach, B., Glasser, F. P. (2007). The role of calcium carbonate in cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 37 (4), 551–558. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.10.013>
- Lothenbach, B., Le Saout, G., Gallucci, E., Scrivener, K. (2008). Influence of limestone on the hydration of Portland cements. *Cement and Concrete Research*, 38 (6), 848–860. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.01.002>
- Bentz, D. P., Ardani, A., Barrett, T., Jones, S. Z., Lootens, D., Peltz, M. A. et al. (2015). Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete. *Construction and Building Materials*, 75, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.042>
- Yeşilmen, S., Al-Najjar, Y., Balav, M. H., Şahmaran, M., Yıldırım, G., Lachemi, M. (2015). Nano-modification to improve the ductility of cementitious composites. *Cement and Concrete Research*, 76, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.026>
- Bentz, D. P., Sato, T., de la Varga, I., Weiss, W. J. (2012). Fine limestone additions to regulate setting in high volume fly ash mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 34 (1), 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.004>
- Salama, K. K., Ali, M. F., El-Sheikh, S. M. (2018). The different influence of nano materials on pigments. *Scientific Culture*, 4 (3), 1–7. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1409798>
- Pushkarova, K., Kochevykh, M., Honchar, O., Hadaichuk, D. (2024). Features of Hardening and Utilization of Modern Cement Compositions with Nanomodifying Additives For Repair And Restoration Works. *International Journal of Conservation Science*, 15 (SI), 157–168. <https://doi.org/10.36868/ijcs.2024.si.13>
- Kropyvnytska, T. P., Sanytskyi, M. A., Heviuk, I. M. (2013). Vplyv karbonatnykh dobavok na vlastyvosti portlandtsementu kompozytsiynoho. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» Teoriya i praktyka budivnytstva*, 755, 214–220. Available at: <https://science.lpnu.ua/sctp/all-volumes-and-issues/volume-755-2013-1/vplyv-karbonatnih-dobavok-na-vlastivosti>
- Sharma, H., Ashish, D. K. (2023). Nano CaCO<sub>3</sub> for enhancing properties of cement-based materials: a comprehensive review. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 12 (12), 1475–1494. <https://doi.org/10.1080/21650373.2023.2233512>
- Wu, Z., Khayat, K. H., Shi, C., Tutikian, B. F., Chen, Q. (2021). Mechanisms underlying the strength enhancement of UHPC modified with nano-SiO<sub>2</sub> and nano-CaCO<sub>3</sub>. *Cement and Concrete Composites*, 119, 103992. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.103992>
- Pushkarova, K., Sheinich, L., Gadaichuk, D., Kushnierova, L., Mazur, V. (2021). Crystallo-chemical aspects of the processes for structure formation of white portlandcement in the presence of nanocarbonate additives. *Science and Construction*, 30 (4), 36–45. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-15-2021-4>
- Ghosal, M., Kumar Chakraborty, A. (2022). Superplasticizer compatibility with cement properties – A study. *Materials Today: Proceedings*, 56, 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.386>
- Ramachandran, V. S., Malhotra, V. M. (1996). Superplasticizers. *Concrete Admixtures Handbook*, 410–517. <https://doi.org/10.1016/b978-081551373-5.50011-8>
- Kakali, G., Tsvivilis, S., Aggeli, E., Bati, M. (2000). Hydration products of C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>S and Portland cement in the presence of CaCO<sub>3</sub>. *Cement and Concrete Research*, 30 (7), 1073–1077. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(00\)00292-1](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(00)00292-1)
- Feldman, R. F., Ramachandran, V. S., Sereda, P. J. (1965). Influence of CaCO<sub>3</sub> on the Hydration of 3CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of the American Ceramic Society*, 48 (1), 25–30. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1965.tb11787.x>
- Runčevski, T., Dinnebie, R. E., Magdysyuk, O. V., Pöllmann, H. (2012). Crystal structures of calcium hemicarboaluminate and carbonated calcium hemicarboaluminate from synchrotron powder diffraction data. *Acta Crystallographica Section B Structural Science*, 68 (5), 493–500. <https://doi.org/10.1107/s010876811203042x>
- Ji, G., Chi, H., Sun, K., Peng, X., Cai, Y. (2024). Effect of limestone waste on the hydration and microstructural properties of cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 443, 137784. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137784>
- Janotka, I., Mojumdar, S. C. (2007). Degree of hydration in cement paste and C<sub>3</sub>A-sodium carbonate-water systems. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 90 (3), 645–652. <https://doi.org/10.1007/s10973-007-8517-6>
- Ruiz-Agudo, C., Cölfen, H. (2024). Exploring the Potential of Non-classical Crystallization Pathways to Advance Cementitious Materials. *Chemical Reviews*, 124 (12), 7538–7618. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00259>
- Pushkarova, K., Tereshchenko, L. (2024). Study of the combined influence of inorganic pigments and nanocarbonate additives on the synthesis of the strength of decorative cements. *Resource-saving materials, structures and buildings*, 45, 68–75. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.08>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318553

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ПОРОЖНИСТИХ СТАЛЕВИХ ЛИТИХ КОНСТРУКЦІЙ З КОМПОЗИТНИМ ТА АРМОВАНИМ НЕМЕТАЛЕВИМ ФУНКЦІОНАЛЬНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ (с. 6–14)

О. Й. Шинський, Ю. Г. Квасницька, І. А. Шалевська, П. Б. Каложний, О. В. Нейма

Об'єктом досліджень є конструкції порожнистих сталевих модулів, наповнених різновидами функціональних матеріалів, та технології їх одержання з використанням методів лиття за моделями, що газифікуються.

Для встановлення закономірностей і передумов створення новітніх порожнистих литих конструкцій та технології їх одержання було проведено комп'ютерне моделювання гідродинамічних і тепломасообмінних процесів та тверднення. Досліджено вплив армованих сталевих елементів і армування безпосередньо з рідкого сплаву оболонки на особливості гідродинамічних, тепломасообмінних процесів і тверднення при одержанні сталевих порожнистих конструкцій з функціональним наповнювачем.

Визначено, що наявність у функціональному наповнювачі перетинок з пінополістиролу для послідуєчого армування з рідкої фази металу оболонки впливає на гідродинаміку заповнення виливка. В тонких каналах, утворених в наповнювачі, відбувається збільшення швидкості течії металу від 2 м/с до 8 м/с у верхніх каналах та від 3 м/с до 12 м/с у нижніх каналах, що пов'язане зі зростанням металостатичного напору.

Наявність металевої арматури у функціональному наповнювачі та армування функціонального матеріалу з рідкої фази металу оболонки прискорюють прогрівання неметалевого наповнювача в 1,2–1,4 та 1,4–1,8 разів, відповідно. Також армування сприяє підвищенню максимальної температури нагрівання функціонального наповнювача на 200–300 °С, що створює кращі умови для його спікання.

Визначено марки сталей для використання їх як матричного сплаву при одержанні порожнистих литих виливків та вивчено їх структуру і фізико-механічні властивості. Визначено рекомендовані режими термічної обробки економнолегованої сталі для одержання необхідних властивостей.

Дані дослідження є теоретичною передумовою для перевірки при виготовленні дослідних литих порожнистих конструкцій з металевою та неметалевою армуючою фазою.

**Ключові слова:** армований сталевий виливок, комп'ютерне моделювання, лиття за моделями, що газифікуються.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318552

### ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСНИХ МОДИФІКУЮЧИХ ТА ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СІРОГО ЧАВУНУ (с. 15–23)

С. І. Клименко, А. М. Верховлюк, А. А. Севоян, О. В. Акімов, О. І. Пономаренко, П. С. Пензев

Об'єктом дослідження є механічні властивості та параметри мікроструктури чавуну. Вирішувалася проблема забезпечення високих механічних властивостей чавуну для деталей машинобудування. Для цього було сформовано робочу гіпотезу, яка передбачала можливість підвищення механічних властивостей підбором комплексних добавок на основі модифікаторів та легуючих феросплавів.

Досліджувалась дія 4 груп добавок: група 1 – ферохром (ФХ025) і силікокальцій (СК-30), група 2 – феротитан (ФТі35) і фероборал (ФБ6), група 3 – феротитан (ФТі35) і ферохром (ФХ025), група 4 – фероборал (ФБ6) і силікокальцій (СК-30). Їх вводили в рідкий метал у різному відсотковому відношенні у кількості 3 % від маси рідкого чавуну. За механічні характеристики були обрані: межа міцності на вигинання ( $\sigma$ , МПа), межа міцності на розривання ( $UTS$ , МПа), стріла прогину ( $f$ , мм), твердість ( $HB$ ) та відбілювання.

Визначено, що характеристики міцності чавуну, який оброблено феросплавами групи 1, досягають максимуму при близько 40 % силікокальцію у складі добавки. Межа міцності чавуну на розривання досягає близько 320 МПа, межа міцності на вигинання близько 710 МПа, стріла прогину – 4,5 мм, а твердість відповідає рівню HB250. Встановлено факт конкуренції твердості та інших механічних властивостей в діапазоні вмісту силікокальцію у складі модифікатора до 40 %. Таким чином, встановлено, що саме комбінація ФХ025+СК-30 за співвідношення компонентів 40:60 відповідно є раціональною.

Виявлені закономірності зміни кількості карбідів, розміру графіту та кількості фериту за використання різних добавок дозволяють пояснити закономірності формування механічних властивостей чавунів. Завдяки цьому стає можливим виявляти механізм формування властивостей, забезпечуючи цілеспрямоване регулювання якості чавуну.

Отримані результати можуть бути використані в умовах чавуноливарних цехів при виготовленні виливків для машинобудування.

**Ключові слова:** механічні характеристики чавуну, модифікатори чавуну, легування, мікроструктура чавуну, графітузуючі та карбідоутворюючі елементи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317205

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ ДОДЕЦИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОНАТУ НАТРІЮ ТА ДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК НА ОСНОВІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ У ЯКОСТІ НОВОГО ГАРТІВНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ТЕРМООБРОБЦІ НА ТВЕРДІСТЬ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ S45C (с. 24–33)

Wahyuaji Narottama Putra, Myrna Ariati, Eddy Sumarno Siradj, Bambang Suharno

У даному дослідженні вивчено вплив додавання додецилбензолсульфату натрію (SDBS) в якості поверхнево-активної речовини на характеристики гартівного середовища з дисперсними частинками друкованих плат (ДП) з точки зору теплопровідності,



стабільності частинок, мікроструктури і твердості середньовуглецевої сталі S45C. Звичайні гартівні середовища мають фіксовану, неконтрольовану швидкість охолодження. Додавання твердих частинок створює тепловий міст, що дозволяє регулювати швидкість охолодження для усунення цього обмеження. Тверді частинки в гартівному середовищі були синтезовані з ДП. Поверхнево-активна речовина допомагає поліпшити дисперсію частинок і уникнути агломерації за рахунок зміни поверхневого натягу між частинками та рідиною. Для вивчення впливу дисперсії ДП та її концентрації на швидкість теплопередачі під час гартування були підготовлені та використані в якості гартівних середовищ середовища з дисперсними частинками ДП. На підставі результатів дослідження, вимірювання стабільності частинок за дзета-потенціалом показало поліпшення стабільності до  $-21,53$  мВ після додавання 7 мас. % поверхнево-активної речовини в порівнянні з дистильованою водою. Завдяки кращій дисперсії частинок теплопровідність гартівного середовища також поліпшується на 39 %, досягаючи максимального значення  $0,82$  Вт/мК у порівнянні з гартівним середовищем без поверхнево-активної речовини, що становить всього  $0,61$  Вт/мК. Крім того, твердість загартованої сталі також збільшується на 29 %, досягаючи максимального значення 58 HRC при вмісті 7 мас. % поверхнево-активної речовини та 0,3 мас. % частинок ДП. Наявність дисперсних частинок ДП у гартівному середовищі забезпечує ефективну передачу тепла від високої температури до нижчої. Результати експериментів показують, що гартівне середовище на водній основі з дисперсією частинок ДП є альтернативним гартівним середовищем для отримання більш контрольованої швидкості охолодження при термічній обробці сталі і є одним із рішень для використання електронних відходів ДП.

**Ключові слова:** відходи друкованих плат, додецилбензолсульфонат натрію, термообробка, процес гартування, середньовуглецева сталь S45C.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317952**

### **РОЗРОБКА ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ (с. 34–43)**

**Л. І. Мельник, В. А. Свідерський**

Червоний шлам (ЧШ) є одним із масштабних побічних продуктів виробництва глинозему, що створює значні екологічні виклики через його високу лужність, токсичність та великий обсяг накопичень. Об'єктом даного дослідження є полімерний композит на основі стирол-бутадієнової водної дисперсії з ЧШ і шамотом (Pa2) як наповнювачами при їх високих концентраціях (до 90 мас. %). Основною проблемою, що вирішувалася, є пошук ефективних способів використання ЧШ як вторинної сировини для підвищення ефективності його утилізації та створення багатофункціональних матеріалів із регульованими властивостями.

В ході дослідження встановлено, що ЧШ має нерегулярну пластинчасту структуру з високою активною поверхнею, яка сприяє утворенню відкритої пористої структури композитів, тоді як Pa2 формує щільну матрицю завдяки вмісту алюмосилікатів. Інфрачервоний спектральний аналіз підтвердив наявність функціональних груп (OH, Si–O, Al–O), які забезпечують взаємодію наповнювачів із полімерною матрицею. Термогравіметричний аналіз показав, що ЧШ і Pa2 мають схожу поведінку при нагріванні. Механічні випробування виявили, що композити з ЧШ демонструють високу пластичність і здатність до поглинання енергії, тоді як композити з Pa2 характеризуються більшою жорсткістю та міцністю (модуль пружності до  $129,8$  МПа).

Отримані результати свідчать, що вибір типу та концентрації наповнювачів дозволяє ефективно регулювати властивості композитів. Запропонований підхід забезпечує можливість утилізації промислових відходів та створення багатофункціональних матеріалів для застосування у будівництві, захисних покриттях і виробництві конструкційних елементів, що витримують значні навантаження.

**Ключові слова:** червоний шлам, полімерний композит, технологенні наповнювачі, промислові відходи, питома поверхня.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317201**

### **РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ДО РЕГУЛЮВАННЯ НАБОРУ МІЦНОСТІ МОДИФІКОВАНИХ БІЛИХ ЦЕМЕНТІВ З РІЗНИМ ВМІСТОМ $C_3A$ (с. 44–52)**

**К. К. Пушкарьова, Л. О. Кушнерова, Л. В. Терещенко**

Об'єктом даного дослідження є механізм регулювання набору міцності модифікованих систем на основі білих цементів з різним вмістом  $C_3A$ .

Враховуючи, що білі цементи зазвичай мають підвищений вміст мінералу  $C_3A$ , для них характерний спад міцності до 10 % в пізні терміни твердіння. Для стабілізації властивостей таких цементів доцільно застосовувати модифікуючі добавки.

Встановлено, що при введенні пластифікуючої добавки до цементу з високим вмістом  $C_3A$  у невеликій кількості (0,5...1 %) внаслідок хімічної взаємодії з мінералом  $C_3A$ , її залишку в рідкій фазі недостатньо для диспергування силікатних фаз і зниження в'язкості в системі. Це в подальшому призводить до спаду міцності цементного каменю до 15 %. В той же час, при додаванні пластифікуючої добавки до системи з низьким вмістом  $C_3A$  її дія виявляється більш ефективною навіть при меншому дозуванні.

Модифікація цементних систем нано- $CaCO_3$  добавками сприяє стабілізації фазового складу новоутворень та гарантує довговічність отриманого цементного каменю, оскільки змінює склад новоутворень у напрямку формування більш термодинамічно стабільних сполук. Введення нано- $CaCO_3$  добавки призводить до значного підвищення швидкості гідратації і створює умови для утворення  $C_3A_3CaCO_3 \cdot 32H_2O$ . Останній сприяє направленому синтезу низькоосновних волокнистих C–S–H фаз, в тому числі тобермориту та перешкоджає конверсії гідроалюмінатних фаз, що нівелює спад міцності в білих цементах з підвищеним вмістом  $C_3A$ .

Використання модифікованих систем дозволить стабілізувати міцнісні характеристики не тільки білих, але й кольорових цементів, оскільки введення пігментів до їх складу призводить до зниження міцності. Такий підхід дозволить ефективно використовувати такі системи в якості основи для декоративних бетонів та розчинів.

**Ключові слова:** наномодифіковані системи, білі цементи, мінерал  $C_3A$ , нано- $CaCO_3$  добавки, процеси структуроутворення.