

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348866

DETERMINATION OF THE STRUCTURAL FEATURES OF JOINT MATERIAL OF THE NITINOL WIRES MADE BY LASER WELDING (p. 6–16)**Viktor Kvasnytskyi**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7756-5179>**Anastasiia Zvorykina**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4635-5742>**Leonid Zvorykin**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6951-6564>**Constantine Zvorykin**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7437-6583>**Valery Kostin**E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2677-4667>**Tatjana Taranova**E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4723-9866>

The object of the study is the welded joint of thin wires made of nitinol alloy. The problem of ensuring the formation of a joint of wires with a diameter of 0.8 mm made of nitinol alloy was solved based on determining the influence of laser welding modes on structural changes in the material of the weld. Based on the use of scanning electron microscopy, micro-X-ray spectral (EDS) analysis, a study of the properties of the material of the welded joint of the nitinol wires was performed. The joint was obtained by welding with an ytterbium fiber laser. It was confirmed that laser welding in an argon atmosphere is able to ensure the high-quality formation of a welded joint without macrodefects while maintaining the superelasticity of the joint material (within the shape memory effect). Two laser welding modes were used with a constant applied laser radiation energy. The duration of the laser radiation action and the multiplicity of such action were varied. At the same time, structural changes in the weld material, which are caused by the multiplicity of laser heating, involve the formation of enlarged zones of the eutectic TiNi + TiNi₃ from metastable nanophases of titanium nickelides. The number of such grains decreases with the depth of the weld. Detection of structural changes and establishment of a decrease in the number of point phase inclusions with an increased nickel content in the weld can be a regulating factor for optimizing the structure of the welded joint material. In the welded joints made, when it is bent at an angle of 30°, the residual deformation does not exceed 10%. The results of the study of the structure of the welded joint of nitinol wires made by laser welding are promising and can be used in the conditions of manufacturing nitinol wire connections by welding medical products.

Keywords: superelasticity of the nitinol joint, laser welding, shape memory effect, intermetallics, eutectic.

References

- Otsuka, K., Wayman, C. M. (1998). Shape memory materials. Cambridge University Press, 284.
- Elahinia, M. H., Hashemi, M., Tabesh, M., Bhaduri, S. B. (2012). Manufacturing and processing of NiTi implants: A review. *Progress in Materials Science*, 57 (5), 911–946. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.11.001>
- Otsuka, K., Ren, X. (2005). Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. *Progress in Materials Science*, 50 (5), 511–678. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2004.10.001>
- Shelyagin, V., Bernatskyi, A., Siora, O., Kedrovskyi, S., Koval, Yu., Slipchenko, V. et al. (2021). Laser Welding of Ti–Ni Shape Memory Alloy for Medical Application. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 43 (3), 383–398. <https://doi.org/10.15407/mfint.43.03.0383>
- Mehrpouya, M., Gisario, A., Elahinia, M. (2018). Laser welding of NiTi shape memory alloy: A review. *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 162–186. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.11.011>
- Li, Q., Zhu, Y. (2018). Impact butt welding of NiTi and stainless steel- An examination of impact speed effect. *Journal of Materials Processing Technology*, 255, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.12.046>
- Prabu, S. S. M., Aravindan, S., Ghosh, S., Palani, I. A. (2023). Solid-state welding of nitinol shape memory alloys: A review. *Materials Today Communications*, 35, 105728. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105728>
- Khalil-Allafi, J., Dlouhy, A., Eggeler, G. (2002). Ni₄Ti₃-precipitation during aging of NiTi shape memory alloys and its influence on martensitic phase transformations. *Acta Materialia*, 50 (17), 4255–4274. [https://doi.org/10.1016/s1359-6454\(02\)00257-4](https://doi.org/10.1016/s1359-6454(02)00257-4)
- Wagner, M. F.-X., Dey, S. R., Gugel, H., Frenzel, J., Somsen, Ch., Eggeler, G. (2010). Effect of low-temperature precipitation on the transformation characteristics of Ni-rich NiTi shape memory alloys during thermal cycling. *Intermetallics*, 18 (6), 1172–1179. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2010.02.048>
- Nishida, M., Wayman, C. M., Honma, T. (1986). Precipitation processes in near-equiatomic TiNi shape memory alloys. *Metallurgical Transactions A*, 17 (9), 1505–1515. <https://doi.org/10.1007/bf02650086>
- Khalil-Allafi, J., Eggeler, G., Dlouhy, A., Schmahl, W. W., Somsen, C. (2004). On the influence of heterogeneous precipitation on martensitic transformations in a Ni-rich NiTi shape memory alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 378 (1–2), 148–151. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.335>
- Cho, J. R., Lee, B. Y., Moon, Y. H., Van Tyne, C. J. (2004). Investigation of residual stress and post weld heat treatment of multi-pass welds by finite element method and experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156, 1690–1695. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.325>
- Krishnan, K. N. (2002). The effect of post weld heat treatment on the properties of 6061 friction stir welded joints. *Journal of Materials Science*, 37 (3), 473–480. <https://doi.org/10.1023/a:1013701104029>
- Elangovan, K., Balasubramanian, V. (2008). Influences of post-weld heat treatment on tensile properties of friction stir-welded AA6061 aluminum alloy joints. *Materials Characterization*, 59 (9), 1168–1177. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.09.006>
- ASTM F2063-18. Specification for Wrought Nickel-Titanium Shape Memory Alloys for Medical Devices and Surgical Implants. <https://doi.org/10.1520/f2063-18>
- Oliveira, J. P., Braz Fernandes, F. M., Miranda, R. M., Schell, N. (2016). On the Mechanisms for Martensite Formation in YAG Laser Welded

Austenitic NiTi. Shape Memory and Superelasticity, 2 (1), 114–120.
<https://doi.org/10.1007/s40830-016-0058-z>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346699

DESIGNING AND DETERMINING THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF LITHIUM ALUMINOSILICATE GLASS-CERAMIC MATERIALS FOR ARMOR PROTECTION (p. 17–25)

Sviatoslav Riabinin

National Technical University
 “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2972-8540>

Artem Zakharov

National Technical University
 “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0120-8263>

Mykyta Maistat

National Technical University
 “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1875-3946>

Stanislav Lihezin

National Technical University
 “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1097-1594>

This study investigates spodumene glassy materials in the $\text{R}_2\text{O}-\text{RO}-\text{RO}_2-\text{R}_2\text{O}_3-\text{Li}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ system.

The task addressed is to obtain lightweight glassy materials with high microhardness and resistance to cracking, while maintaining a low apparent density and moderate energy consumption during manufacture. DTA/DSC, XRD, and optical microscopy were used to examine the structure and phase composition of samples obtained by one- and two-stage heat treatment.

Based on the research results, a series of compositions were developed; the structural characteristics of the glass matrix were determined for them. The resulting data show that the low-temperature two-stage heat treatment (nucleation at 530°C, crystallization at 850...900°C) contributes to the formation of a fine-grained structure, in which β -spodumene predominates (80...85 vol.%). Compared to the single-step process, H_V and H increased by 9...20%, K_{IC} by 20...31%, and E by 25%. This effect can be explained by metastable micro liquefaction and early nucleation, leading to the formation of highly dense, fine-grained prismatic β -spodumene grains that inhibit crack propagation.

The choice of oxides and composition of nucleators (TiO_2 , ZrO_2) is crucial. The introduction of fluorides and small amounts of rare-earth oxides reduces the melt viscosity and nucleation temperature. The addition of P_2O_5 promotes localized micro liquefaction of the fine-grained morphology of the target phase. These factors reconstruct the glassy phase and contribute to mechanical strengthening, distributing stresses more evenly within the finely dispersed crystalline matrix.

The practical significance of this study is that the obtained spodumene-containing composite materials have both high mechanical properties ($H_V = 7.9...9.2$ GPa; $K_{IC} = 1.8...3.4$ MPa·m^{0.5}) and a reasonably low apparent density ($\rho = 2370...2450$ kg/m³) compared to other protective materials. These materials are suitable for the manufacture of lightweight individual bulletproof composite components.

Keywords: aluminosilicate glass-ceramic materials, armor element, impact resistance, wave propagation velocity, physical-mechanical properties.

References

- Venkateswaran, C., Sreemoolanadhan, H., Vaish, R. (2021). Lithium aluminosilicate (LAS) glass-ceramics: a review of recent progress. *International Materials Reviews*, 67 (6), 620–657. <https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1994108>
- LaSalvia, J. C. (2015). *Advances in ceramic armor*. Wiley.
- Fejdyś, M., Kośla, K., Kucharska-Jastrzębek, A., Łandwajt, M. (2020). Influence of ceramic properties on the ballistic performance of the hybrid ceramic–multi-layered UHMWPE composite armour. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57 (1), 149–161. <https://doi.org/10.1007/s41779-020-00516-7>
- Dresch, A. B., Venturini, J., Arcaro, S., Montedo, O. R. K., Bergmann, C. P. (2021). Ballistic ceramics and analysis of their mechanical properties for armour applications: A review. *Ceramics International*, 47 (7), 8743–8761. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.12.095>
- Xiang, S., Ma, L., Yang, B., Dieudonne, Y., Pharr, G. M., Lu, J. et al. (2019). Tuning the deformation mechanisms of boron carbide via silicon doping. *Science Advances*, 5 (10). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay0352>
- Shen, Z., Hu, D., Yang, G., Han, X. (2019). Ballistic reliability study on SiC/UHMWPE composite armor against armor-piercing bullet. *Composite Structures*, 213, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.01.078>
- Sajdak, M., Kornaus, K., Zientara, D., Moskała, N., Komarek, S., Momot, K. et al. (2024). Processing, Microstructure and Mechanical Properties of TiB₂-MoSi₂-C Ceramics. *Crystals*, 14 (3), 212. <https://doi.org/10.3390/cryst14030212>
- Chiu, Y.-J., Yen, C.-Y., Chiang, M.-S., Chen, G.-J., Jian, S.-R., Wang, C., Kao, H.-L. (2017). Mechanical Properties and Fracture Toughness of AlN Thin Films Deposited Using Helicon Sputtering. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 9 (4), 562–566. <https://doi.org/10.1166/nnl.2017.2357>
- Gallo, L. S., Villas Boas, M. O. C., Rodrigues, A. C. M., Melo, F. C. L., Zanotto, E. D. (2019). Transparent glass–ceramics for ballistic protection: materials and challenges. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (3), 3357–3372. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.05.006>
- Li, M., Xiong, C., Ma, Y., Jiang, H. (2022). Study on Crystallization Process of Li₂O–Al₂O₃–SiO₂ Glass-Ceramics Based on In Situ Analysis. *Materials*, 15 (22), 8006. <https://doi.org/10.3390/ma15228006>
- Dittmer, M., Ritzberger, C., Höland, W., Rampf, M. (2018). Controlled precipitation of lithium disilicate (Li₂Si₂O₅) and lithium niobate (LiNbO₃) or lithium tantalate (LiTaO₃) in glass-ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 38 (1), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.08.032>
- Glatz, P., Comte, M., Montagne, L., Doumert, B., Cousin, F., Cormier, L. (2020). Structural evolution at short and medium range distances during crystallization of a P₂O₅-Li₂O-Al₂O₃-SiO₂ glass. *Journal of the American Ceramic Society*, 103 (9), 4969–4982. <https://doi.org/10.1111/jace.17189>
- Abdullah, A. A., Dlugogorski, B. Z., Oskierski, H. C., Senanayake, G. (2024). Kinetics of spodumene calcination (α -LiAlSi₂O₆). *Minerals Engineering*, 216, 108902. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108902>
- Savvova, O. V., Babich, O. V., Voronov, G. K., Ryabinin, S. O. (2017). High-Strength Spodumene Glass-Ceramic Materials. *Strength of Materials*, 49 (3), 479–486. <https://doi.org/10.1007/s11223-017-9890-4>
- Savvova, O. V., Babich, O. V., Voronov, H. K., Riabinin, S. O. (2017). Vysokomitsni spodumenovi sklokrystalichni materialy. *Problemy mitsnosti*, 3, 167–175. Available at: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/items/6a48d4df-eee2-4aeb-9a2a-fab8af8a5c49>
- NATO AEP-55 STANAG 4569 Protection levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles. NATO. Available at: https://ballistics.com.au/wp-content/uploads/2020/05/NATO_AEP-55_STANAG_4569_standards.pdf

17. Yu, X., Wang, M., Rao, Y., Xu, Y., Xia, M., Zhang, X., Lu, P. (2023). Unveiling the evolution of early phase separation induced by P_2O_5 for controlling crystallization in lithium disilicate glass system. *Journal of the European Ceramic Society*, 43 (12), 5381–5389. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.05.006>
18. Zhou, Z., He, F., Shi, M., Xie, J., Wan, P., Cao, D., Zhang, B. (2022). Influences of Al_2O_3 content on crystallization and physical properties of LAS glass-ceramics prepared from spodumene. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 576, 121256. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2021.121256>
19. Lisachuk, G. V., Ryshenko, M. I., Belostockaya, L. A. (2008). Steklokristalicheskie pokrytiya po keramike. Kharkiv: NTU” HPI, 480. Available at: https://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/stkrp.pdf
20. Trusova, Yu. D. (2004). Empiricheskiy kriteriy kristallizacionnoy sposobnosti mnogokomponentnykh oksidnykh rasplavov. *Vestnik NTU «KhPI»*, 34, 38–44.
21. Savvova, O., Voronov, H., Babich, O., Fesenko, O., Riabinin, S., Bieliakov, R. (2020). Solid Solutions Formation Mechanism in Cordierite-Mullite Glass Materials During Ceramization. *Chemistry & Chemical Technology*, 14 (4), 583–589. <https://doi.org/10.23939/chcht14.04.583>
22. Savvova, O. V., Ryabinin, S. A., Svitlichniy, E. A., Voronov, G. K., Fesenko, A. I. (2019). Selection justification of methods for obtaining glass-ceramic materials. *Keramika: Nauka i Zhyttia*, 3 (44), 8–15. <https://doi.org/10.26909/csl.3.2019.1>
23. Riabinin, S., Zakharov, A., Maizelis, A., Prytychenko, H. (2024). Determination of prospective directions for the improvement of materials for individual armor protection. *Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Chemistry, Chemical Technology and Ecology*, 2 (10), 53–60. <https://doi.org/10.20998/2079-0821.2023.02.09>
24. ISO 23146:2012. Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test methods for fracture toughness of monolithic ceramics — Single-edge V-notch beam (SEVNB) method. ISO. Available at: <https://www.iso.org/standard/62093.html>
25. EN 1288-1:2000. Glass in building - Determination of the bending strength of glass - Part 1: Fundamentals of testing glass. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5c0c5441-ce5e-44f4-ae8e-b187edd43653/en-1288-1-2000>
26. ASTM C730-98(2021). Standard Test Method for Knoop Indentation Hardness of Glass. ASTM International. Available at: <https://www.astm.org/c0730-98r21.html>
27. Inage, K., Akatsuka, K., Iwasaki, K., Nakanishi, T., Maeda, K., Yasumori, A. (2020). Effect of crystallinity and microstructure on mechanical properties of $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ glass toughened by precipitation of hexagonal $CaAl_2Si_2O_8$ crystals. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 534, 119948. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2020.119948>
28. Fedorenko, O. Yu. et al. (2015). *Khimichna tekhnolohiya tuhoplavkykh nemetalevykh i sylikatnykh materialiv u prykladakh i zadachakh. Ch. 2. Fyzyko-khimichni systemy, fazovi rivnovahy, termodynamika, resurso- ta enerhozberezhennia v tekhnolohiyi tuhoplavkykh nemetalevykh i sylikatnykh materialiv*. Kharkiv, 336. Available at: https://library.kpi.kharkov.ua/uk/chemistry_himtehnol

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.344899

EXPERIMENTAL STUDY ON THE FATIGUE CRACKING RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT REINFORCED WITH SYNTHETIC MESHES (p. 26–34)

Artur Onyshchenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Vitalii Kovalchuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

Oleksii Rykovtsev

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1715-6058>

Oleg Tsekhsansky

Caponier-Group LLC, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4084-0720>

Dmytro Husev

Caponier-Group LLC, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6972-1944>

Dmitry Anishchenko

Municipal Corporation “Kyivavtodor”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7721-4644>

Ivan Kravets

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2239-849X>

Roman Lisnevskyi

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-913X>

Olexiy Zagorodnyi

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8869-7985>

This study investigates fatigue cracking resistance of asphalt concrete pavement beam specimens operating under cyclic loading conditions and undergoing fatigue cracking. The task is to establish the regularities of fatigue cracking resistance of asphalt concrete beam specimens reinforced with Adfors GlasGrid GG50, Adfors GlasGrid GG100, and Adfors GlasGrid CG50L geogrids.

Fatigue cracking resistance of asphalt concrete beam specimens reinforced with Adfors GlasGrid geogrids under the action of sinusoidal loading with a frequency of 10 Hz was examined experimentally.

The four-point bending method was accepted as the criterion for assessing fatigue durability when testing reinforced asphalt concrete beam specimens. Under the action of cyclic loading, the number of load application cycles was adopted, during which the initial complex modulus of rigidity that is observed after the first 100 load cycles would decrease by 50%.

It was found that when reinforcing asphalt concrete beam specimens with Adfors GlasGrid GG50 geogrid, the average number of cycles to lose 50% of the complex modulus of rigidity reached 68,460 load cycles during the application of loads. When reinforcing with Adfors GlasGrid GG100 geogrid, 76,900 load cycles, and when reinforcing asphalt concrete beam specimens with Adfors GlasGrid CG50L geogrid, 153,127 load cycles were applied. In the absence of asphalt concrete reinforcement with geogrids, the average number of load cycles was 25,975 cycles.

When losing 50% of the complex modulus of rigidity, it was found that the increase in the number of cycles in relation to beam specimens without geogrid reinforcement was 2.6 times when reinforcing beam specimens with Adfors GlasGrid GG50 geogrids. When reinforced with Adfors GlasGrid GG100 geogrids, this indicator was 3.0, and when reinforced with Adfors GlasGrid CG50L geogrids, it was 5.9.

Keywords: asphalt concrete, fatigue cracking, Adfors GlasGrid geogrids, highways, cyclic loads.

References

1. Mozghovyi, V. V., Onyshchenko, A. M., Harkusha, M. V., Aksonov, S. Yu. (2012). Suchasni aspekty pidvyshchennia kolistyystosti nezhorstkoho dorozhnoho odiahu. *Avtoshliakhovik Ukrainy*, 5, 25–30. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2012_5_8

2. Gaidaichuk, V., Gustieliev, O., Radkevich, A., Shevchuk, L., Shlyun, N. (2019). Thermal elastic deformation of the layered covering on the concave part of a road. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 102, 180–190. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.180-190>
3. Vasileva, H., Koshevyi, O., Mishchenko, O., Cherednichenko, P. (2020). Thermoelastic state of multilayered road pavement. *Urban Development and Spatial Planning*, 73, 29–40. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.73.29-40>
4. SOU 45.2-00018112-080:2011. Avtomobilni dorohy. Otsinka ta reiestratsiya stanu dorozhnikh pokryttiv ta tekhnichnykh zasobiv avtomobilnykh dorih avtomatyzovanyh systemamy videodiahnostyky. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=27907
5. Kovalchuk, V., Sobolevska, Y., Onyshchenko, A., Fedorenko, O., Tokin, O., Pavliv, A. et al. (2021). Procedure for determining the thermoelastic state of a reinforced concrete bridge beam strengthened with methyl methacrylate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (112)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238440>
6. Onyshchenko, A., Kovalchuk, V., Zagorodniy, O., Moroz, V. (2023). Determining the residual service life of polymer-modified asphalt concrete pavement on road bridges. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (123)), 41–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279006>
7. Onyshchenko, A., Kovalchuk, V., Husev, D., Anishchenko, D., Tymoshyn, M., Tsekhansky, O. et al. (2025). Determining the effect of reinforcing asphalt-concrete coating with synthetic nets on its performance indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (133)), 73–81. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.320426>
8. Onyshchenko, A. M. (2016). Method of Calculating Strength Grip Coating of Asphalt Roadway Bridge at Shift from Emergency Braking of Vehicle. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 4, 12–19. Available at: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21577?show=full>
9. Al-Hadidy, A. I. (2023). Experimental Investigation on Performance of Asphalt Mixtures with Waste Materials. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 17 (4), 1079–1091. <https://doi.org/10.1007/s42947-023-00288-w>
10. Zhou, F., Li, H., Chen, P., Scullion, T. (2014). Report No. FHWA/TX-14/0-6674-1. Laboratory Evaluation of Asphalt Binder Rutting, Fracture, and Adhesion tests. Texas Department of Transportation. Research and Technology Implementation Office. Available at: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/27289>
11. Kushnir, O. V., Gamelyak, I. P., Raikovskiy, V. F., Klimov, U. M. (2020). Designing of a design of road clothes for transportation of large and especially heavy loads by roads of Ukraine. *Science and Education a New Dimension*, VIII (30 (2024)), 53–62. <https://doi.org/10.31174/send-nt2020-244viii30-13>
12. Dorozhko, Y., Batrakova, A., Tymoshevskiy, V., Zakharova, E. (2021). Ensuring adhesion between the asphalt-concrete road surface and rigid base at the roadbed design stage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (111)), 84–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235394>
13. Mozghoviy, V., Kutsman, O., Baran, S., Borovyk, I. (2016). Flexible pavement design with features using reinforced asphalt layers of highways. *The National Transport University Bulletin*, 1 (34), 294–302. Available at: https://www.researchgate.net/publication/375336166_FLEXIBLE_PAVEMENT_DESIGN_WITH_FEATURES_USING_REINFORCED ASPHALT LAYERS OF HIGHWAYS
14. Shu, L., Ni, F., Du, H., Han, Y. (2023). An Evaluation of Asphalt Mixture Crack Resistance and Identification of Influential Factors. *Coatings*, 13 (8), 1382. <https://doi.org/10.3390/coatings13081382>
15. Yu, J., Feng, Z., Chen, Y., Yu, H., Korolev, E., Obukhova, S. et al. (2024). Investigation of cracking resistance of cold asphalt mixture designed for ultra-thin asphalt layer. *Construction and Building Materials*, 414, 134941. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134941>
16. Nguyen, M. L., Chupin, O., Blanc, J., Piau, J.-M., Hornych, P., Lefevre, Y. (2019). Investigation of Crack Propagation in Asphalt Pavement Based on APT Result and LEFM Analysis. *Journal of Testing and Evaluation*, 48 (1), 161–177. <https://doi.org/10.1520/jte20180933>
17. Kou, C., Fan, R., Zhang, M., Zhu, Z., Kang, A., Baaj, H. (2025). Investigation into the crack propagation behaviors of asphalt mixture containing recycled concrete aggregates using digital image correlation. *Construction and Building Materials*, 470, 140636. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140636>
18. Xu, D., Ni, F., Du, H., Zhao, Z., Wang, J., Chen, S. (2023). Investigation of Factors Affecting the Intermediate-Temperature Cracking Resistance of In-Situ Asphalt Mixtures Based on Semi-Circular Bending Test. *Coatings*, 13 (2), 384. <https://doi.org/10.3390/coatings13020384>
19. Huang, B., Shu, X., Vukosavljevic, D. (2011). Laboratory Investigation of Cracking Resistance of Hot-Mix Asphalt Field Mixtures Containing Screened Reclaimed Asphalt Pavement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23 (11), 1535–1543. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000223](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000223)
20. Armuiuchi heograkty dlia asfaltobetonu GlasGrid®. Adfors. Available at: [https://www.viaduk.net/clients/caponier.nsf/0/2b53f3260fafa98bc22586f8002cd3aa/\\$FILE/minicatalogue_UKR_2020.10_v6.pdf](https://www.viaduk.net/clients/caponier.nsf/0/2b53f3260fafa98bc22586f8002cd3aa/$FILE/minicatalogue_UKR_2020.10_v6.pdf)
21. Nguyen, Q. T., Tran, T. C. H. (2021). Experimental Investigation of Fatigue Behavior for Polymer Modified Asphalt and Epoxy Asphalt Mixtures. *Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainability in Civil Engineering*, 161–166. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0053-1_20
22. Di Benedetto, H., Nguyen, Q. T., Sauzéat, C. (2011). Nonlinearity, Heating, Fatigue and Thixotropy during Cyclic Loading of Asphalt Mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 12 (1), 129–158. <https://doi.org/10.1080/14680629.2011.9690356>
23. Lundström, R., Isacsson, U. (2004). Linear Viscoelastic and Fatigue Characteristics of Styrene–Butadiene–Styrene Modified Asphalt Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16 (6), 629–638. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2004\)16:6\(629\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:6(629))
24. Wen, H., Kutay, M. E., Shen, S. (2011). Evaluation of the Effects of Asphalt Binder on the Properties of Hot Mix Asphalt at Intermediate Temperatures. *Journal of Testing and Evaluation*, 39 (3), 321–326. <https://doi.org/10.1520/jte102878>
25. Abojaradeh, M., Jew, B., Ghargheer, F., Kaloush, K., Abojaradeh, D. (2010). Cracking characteristic of asphalt rubber mixtures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 4 (3), 205–210. Available at: https://www.researchgate.net/publication/320419437_Cracking_characteristic_of_asphalt_rubber_mixtures
26. Orešković, M., Trifunović, S., Mladenović, G., Bohuš, Š. (2019). Fatigue resistance of a grid-reinforced asphalt concrete using four-point bending beam test. *Bituminous Mixtures and Pavements VII*, 589–594. <https://doi.org/10.1201/9781351063265-79>
27. GLASGRID® GG. Available at: <https://asphaltgroup.co.uk/glasgrid-gg>
28. Asphalt Reinforcement. Available at: <https://eu.adfors.com/asphalt-reinforcement>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348938

DETERMINATION OF THE RESISTANCE OF BUILDING COMPOSITES UNDER DIFFERENT TYPES OF FREEZING (p. 35–xx)

Oleksandr Nepomiashchiiy

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0281-0598>

Valeriy Vyrovoy

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8818-4112>

Vitalii Shevchenko

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1814-7762>

Marina Kotikova

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3856-6287>

Dmytro Taichan

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1603-323X>

The object of the study is the processes of structural degradation and changes in the physico-mechanical properties of cement paste, cement-sand mortars, and concretes under cyclic freezing-thawing under different exposure conditions.

The problem considered in the study is the insufficient compliance of traditional methods for assessing frost resistance with real freezing conditions. Most structures in the natural environment are subjected to one-sided or local cooling, rather than comprehensive.

The article analyzed building composite materials: cement stone, mortars and concretes, as the object of the study. These materials are most often subjected to prolonged climatic influences during their operation.

The obtained experimental results give grounds to conclude that the conditions of exposure to negative temperatures on products and structures play a significant role in their ability to resist frost damage.

A comparison of different freezing conditions showed that with local exposure, the zone with higher humidity is destroyed more intensively. This indicates that traditional methods for assessing frost resistance, which are based only on comprehensive freezing, do not fully reflect the real operating conditions of structures.

Quantitatively, it was shown that after five freeze-thaw cycles, the damage coefficient under local exposure was about 30% higher than under uniform (all-sided) freezing.

The obtained results showed the need to develop recommendations for assessing the frost resistance of building materials depending on the operating conditions of the objects for which they are intended. Taking into account the identified dependencies in the current regulatory documents will allow for a more differentiated assignment of requirements for frost resistance of materials, which will inevitably lead to a decrease in the material intensity of products while simultaneously increasing the level of safe functioning. This is the practical significance of the research carried out.

The proposed approach allows for a more objective assessment of the frost resistance of building materials, which will contribute to increasing the durability of structures and reducing the material intensity of products without losing the level of their reliability.

Keywords: frost resistance of cement materials, durability of cement materials, material damage coefficient, climatic factors.

References

1. Vyrovoy, V. N., Dorofeev, V. S., Suhanov, V. G. (2010). *Kompozicionnye stroitelnye materialy i konstrukcii: struktura, samoorganizaciya, svoystva*. Odessa: TES.
2. Jodidio, P. (2018). *Contemporary Concrete Buildings*. Köln: Taschen, 632.
3. Wang, R., Hu, Z., Li, Y., Wang, K., Zhang, H. (2022). Review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the freeze-thaw environment. *Construction and Building Materials*, 321, 126371. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126371>
4. Nikolaevich, N. A., Nikolaevich, V. V., Aleksaevich, C. A. (2021). Frost resistance of cement-sand and concrete beams during unilateral freezing. *Croatian Regional Development Journal*, 2 (1), 64–74. <https://doi.org/10.2478/crdj-2021-0009>
5. Dvorkin, L. (2019). Design estimation of concrete frost resistance. *Construction and Building Materials*, 211, 779–784. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.108>
6. Yuan, J., Du, Z., Wu, Y., Xiao, F. (2019). Freezing-thawing resistance evaluations of concrete pavements with deicing salts based on various surfaces and air void parameters. *Construction and Building Materials*, 204, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.149>
7. Koh, Y., Kamada, E. (1973). The influence of pore structure of concrete made with absorptive aggregates on the frost durability of concrete. *Proceedings of the RILEM/IUPAC International Symposium, 'Pore Structure and Properties of Materials*. Prague.
8. Torrent, R. J., Neves, R. D., Imamoto, K. (2021). *Concrete Permeability and Durability Performance*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429505652>
9. Plugin, A., Miroshnichenko, S., Kalinin, O., Liakhu, L., Hanzhela, S. (2021). The crack resistance of reinforced-concrete sleepers' with elastic rail fastening systems without base-plate. *Experimental research. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 192, 11–23. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223738>
10. Litvinenko, A. S. (2006). *Issledovanie ciklichnosti pogodno-klimaticheskikh usloviy Ukrainy v svyazi s prognozirovaniem vliyaniya opasnykh prirodnykh yavleniy na sostoyanie avtomobilnykh dorog. Dorohy i mosty*, 5, 74–90.
11. Dobshits, L. M. (2023). Physical and mathematical modeling of frost resistance for cement concretes. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 19 (3), 313–321. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-3-313-321>
12. Liu, K., Yan, J., Hu, Q., Sun, Y., Zou, C. (2016). Effects of parent concrete and mixing method on the resistance to freezing and thawing of air-entrained recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 106, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.074>
13. Cortez, E. R., Durning, T. A., Jeknavorian, A. A., Korhonen, C. J. (1997). *Antifreeze admixtures for concrete*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation. Available at: https://www.researchgate.net/publication/277858102_Antifreeze_Admixtures_for_Concrete
14. Moore, M. R., Mughal, M. S., Papageorgiou, D. T. (2017). Ice formation within a thin film flowing over a flat plate. *Journal of Fluid Mechanics*, 817, 455–489. <https://doi.org/10.1017/jfm.2017.100>
15. Powers, T. C. (1945). A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete. *ACI Journal Proceedings*, 41 (1). <https://doi.org/10.14359/8684>
16. Powers, T. C., Helmuth, R. A. (1953). Theory of volume changes in hardened Portland cement paste during freezing. *Portland Cement Association*.
17. Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Krakow. Available at: <https://ru.scribd.com/document/349401678/Beton-wg-PN-EN-206-1-pdf>
18. Vyrovoy, V., Sukhanov, V. (2019). Structural dynamic of building composites. *Mechanics And Mathematical Methods*, 1 (2), 27–35. <https://doi.org/10.31650/2618-0650-2019-1-2-27-35>
19. Shtark, I., Viht, B. (2004). *Dolgovechnost betona*. Kyiv: Oranta, 295.
20. DSTU B V.2.7-176:2008. *Budivelni materialy. Sumishi betonni ta beton*. Kyiv.

21. DSTU EN 206:2022. Beton. Spetsyfikatsiya, produktyvnist, vyrobnytstvo ta vidpovidnist (EN 206:2013+A2:2021, IDT). Kyiv.
22. DSTU B V.2.7-126:2011. Budivelni materialy. Sumishi budivelni sukhi modyfikovani. Zahalni tekhnichni umovy. Kyiv.
23. DSTU B EN 197-1:2015. Tsement. Chastyna 1. Sklad, tekhnichni umovy ta kryteriyi vidpovidnosti dlia zvychainykh tsementiv (EN 197-1:2011, IDT). Kyiv.
24. DSTU B V.2.7-187:2009. Budivelni materialy. Tsementy. Metody vyznachennia mitsnosti na zghyn i stysk. Kyiv.
25. DSTU EN 12390-3:2024. Vyprobuvannia betonu. Chastyna 3. Mitsnist zrazkiv na stysk (EN 12390-3:2019, IDT). Kyiv.
26. DSTU EN 12390-5:2025. Vyprobuvannia betonu. Chastyna 5. Mitsnist zrazkiv na roztyah za zghynu (EN 12390-5:2019, IDT). Kyiv.
27. DSTU EN 12390-6:2025. Vyprobuvannia betonu. Chastyna 6. Mitsnist zrazkiv na roztyah za rozkoliuvannia (EN 12390-6:2009, IDT). Kyiv.
28. DSTU B V.2.7-170:2008. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia serednoi hustyny, volohosti, vodopohlynannia, porystosti i vodonepronyknosti. Kyiv.
29. DSTU EN 12504-4:2022. Vyprobuvannia betonu v konstruktsiyakh. Chastyna 4. Vyznachennia shvydkosti ultrazvukovoho impulsu (EN 12504-4:2021, IDT). Kyiv.
30. Nepomnyashchy, A. N., Vyrovoy, V. N. (2016). Analysis of methods quantifying damage of material construction. Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury, 63, 174–178. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba_2016_63_31

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348866

ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ З'ЄДНАННЯ НІТИНОЛОВИХ ДРОТІВ, ВИКОНАНИХ ЛАЗЕРНИМ ЗВАРЮВАННЯМ (с. 6–16)

В. В. Квасницький, А. К. Зворикіна, Л. О. Зворикін, К. О. Зворикін, В. А. Костін, Т. Г. Таранова

Об'єкт дослідження – зварне з'єднання тонких дротів зі сплаву нітинол. Вирішувалася проблема забезпечення формування з'єднання дротів діаметром 0,8 мм зі сплаву нітинол на основі визначення впливу режимів лазерного зварювання на структурні зміни в матеріалі зварного шва. На основі використання растрової електронної мікроскопії, мікрорентгеноспектрального (EDS) аналізу виконано дослідження властивостей матеріалу зварного шва з'єднання нітинолу. З'єднання отримувалось зварюванням ітербієвим оптоволоконним лазером. Підтверджено, що лазерне зварювання в атмосфері аргону здатне забезпечити якісне формування зварного з'єднання без макродефектів із збереженням надпружності матеріалу з'єднання (в межах ефекту пам'яті форми). Використано два режими лазерного зварювання при постійності підведеної енергії лазерного випромінювання. Змінювалась тривалість дії лазерного випромінювання та кратність такої дії. При цьому структурні зміни в матеріалі зварного шва, що обумовлені кратністю лазерного нагріву, передбачають утворення укрупнених зон евтектики $\text{TiNi} + \text{TiNi}_3$ з метастабільних наночастинок нікелідів титану. Кількість таких зерен зменшується за глибиною зварного шва. Виявлення структурних змін та встановлення зменшення кількості точкових фазових включень з підвищенням вмісту нікелю в зварному шві може бути регулюючим фактором для оптимізації структури матеріалу зварного з'єднання. У виконаних зварних з'єднаннях при його вигинанні на кут 30° залишкова деформація не перевищує 10%. Результати дослідження структури зварного шва з'єднання дротів з нітинолу виконаних зварюванням лазером є перспективними і можуть бути використані за умов виготовлення нітинолових дротових з'єднань зварюванням виробів медичного призначення.

Ключові слова: надпружність нітинолового з'єднання, лазерне зварювання, ефект пам'яті форми, інтерметаліди, евтектика.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346699

РОЗРОБКА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛІТІЙАЛЮМОСИЛІКАТНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БРОНЕЗАХИСТУ (с. 17–25)

С. О. Рябінін, А. В. Захаров, М. С. Майстат, С. Л. Лігезін

Це дослідження зосереджено на сподуменових склокристалічних матеріалах у системі $\text{R}_2\text{O}-\text{RO}-\text{RO}_2-\text{R}_2\text{O}_3-\text{Li}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$.

Проблемою дослідження є отримання легких склокристалічних матеріалів з високою мікротвердістю та стійкістю до розтріскування, зберігаючи при цьому низьку уявну густину та помірне енергоспоживання при виготовленні. Для дослідження структури та фазового складу зразків, отриманих за допомогою одно- та двостадійної термічної обробки, було використано DTA/DSC, XRD та оптичну мікроскопію.

За результатами досліджень розроблено серію складів та для них визначено структурні характеристики скломатриці. Отримані дані показують, що низькотемпературна двостадійна термічна обробка (нуклеація при 530°C , кристалізації при $850\ldots 900^\circ\text{C}$) сприяє формуванню дрібнозернистої структури, в якій переважає β -сподумен ($80\ldots 85\%$). Порівняно з одноступеневим процесом, H_V та H збільшилася на $9\ldots 20\%$, K_{1C} на $20\ldots 31\%$, а E на 25% . Цей ефект можна пояснити метастабільною мікроліквіацією та ранньою нуклеацією, що призводить до утворення високощільних, дрібнозернистих призматичних зерен β -сподумену, які перешкоджають поширенню тріщин.

Вибір оксидів та складу нуклеаторів (TiO_2 , ZrO_2) має вирішальне значення. Введення фторидів та невеликої кількості оксидів рідкісноземельних елементів знижує в'язкість розплаву та температуру зародкоутворення. Додавання P_2O_5 сприяє локалізованій мікроліквіації дрібнозернистої морфології цільової фази. Ці фактори реконструюють склоподібну фазу та сприяють механічному зміцненню, розподіляючи напруження більш рівномірно в межах дрібнодисперсної кристалічної матриці.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що отримані сподуменвмісні композитні матеріали мають як високі значення механічних властивостей ($H_V = 7,9\ldots 9,2$ ГПа; $K_{1C} = 1,8\ldots 3,4$ МПа $\cdot\text{м}^{0,5}$), так і достатньо низьку, в порівнянні з іншими захисними матеріалами, уявну густину ($\rho = 2370\ldots 2450$ кг/м 3). Ці матеріали придатні для виготовлення легких індивідуальних куленепробивних композитних компонентів.

Ключові слова: алюмосилікатні склокристалічні матеріали, бронеелемент, ударостійкість, швидкість розповсюдження хвиль, фізико-хімічні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.344899

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СТІЙКОСТІ ДО ВТОМНОГО РОЗТРИСКУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИВУ АРМОВАНОГО СИНТЕТИЧНИМИ СІТКАМИ (с. 26–34)

А. М. Онищенко, В. В. Ковальчук, О. І. Риковцев, О. Е. Цеханський, Д. Ю. Гусев, Д. В. Аніщенко, І. Б. Кравець, Р. С. Лісневський, О. В. Загородній

Об'єктом дослідження є стійкість до втомного розтріскування зразків-балок асфальтобетонного покриття, які працюють в умовах циклічного навантаження та зазнають втомного розтріскування. Предметом досліджень є встановлення закономірностей стійкості

до втомного розтріскування армованих асфальтобетонних зразків-балок георатками Adfors GlasGrid GG50, Adfors GlasGrid GG100 та Adfors GlasGrid CG50L.

Проведено експериментальні дослідження стійкості до втомного розтріскування армованих асфальтобетонних зразків-балок георатками Adfors GlasGrid під дією синусоїдального навантаження із частотою 10 Гц.

За критерій оцінки втомної довговічності при випробовуванні армованих асфальтобетонних зразків-балок прийнято метод чотириточкового згину. Під дією циклічного навантаження прийнято кількість циклів прикладання навантаження, за які початковий комплексний модуль жорсткості, який фіксується після перших 100 циклів навантаження, зменшиться на 50%.

Встановлено, що при армуванні асфальтобетонних зразків-балок геораткою Adfors GlasGrid GG50 середня кількість циклів до втрати 50% комплексного модуля жорсткості досягла під час прикладання 68 460 циклів навантажень. При армуванні геораткою Adfors GlasGrid GG100 – 76 900 циклів навантажень, а при армуванні асфальтобетонних зразків-балок геораткою Adfors GlasGrid CG50L під час прикладання 153 127 циклів навантажень. У випадку відсутності армування асфальтобетону георатками середня кількість циклів навантажень склала 25 975 циклів.

При втраті 50% комплексного модуля жорсткості встановлено, що приріст кількості циклів у співвідношенні до зразків-балок без армування георатками становив 2,6 раз під час армування зразків-балок георатками Adfors GlasGrid GG50. Під час армування георатками Adfors GlasGrid GG100 цей показник становив 3,0, а під час армування георатками Adfors GlasGrid CG50L – 5,9.

Ключові слова: асфальтобетон, втомне розтріскування, георатки Adfors GlasGrid, автомобільні дороги, циклічні навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348938

ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ ЗАМОРОЖУВАННЯ (с. 35–44)

О. М. Непом'ящий, В. Н. Вировой, В. В. Шевченко, М. В. Котикова, Д. С. Тайчан

Об'єкт дослідження – процеси структурної деградації та зміни фізико-механічних властивостей цементного каменю, цементно-піщаних розчинів і бетонів під дією циклічного заморожування-відтавання за різних умов впливу. Проблема, що була розглянута в дослідженні, – недостатня відповідність традиційного оцінювання морозостійкості реальним умовам заморожування. Більшість конструкцій у природному середовищі зазнають однобічного або локального охолодження, а не всебічного.

Було проаналізовано будівельні композиційні матеріали: цементний камінь, розчини та бетони, як об'єкт дослідження. Ці матеріали найчастіше схильні до тривалого кліматичного впливу під час їх експлуатації.

Отримані результати експериментів дають підставу зробити висновок, що умови впливу від'ємних температур на вироби і конструкції грають істотну роль на їх здатність чинити опір морозному руйнуванню.

Порівняння різних умов заморожування показало, що при локальному впливі зона з більшою вологістю руйнується інтенсивніше. Це свідчить, що традиційні методики оцінювання морозостійкості, які базуються лише на всебічному заморожуванні, не повністю відображають реальні умови експлуатації конструкцій.

Кількісно показано, що після 5 циклів заморожування-відтавання коефіцієнт пошкодженості при локальному впливі був на 30% вищим порівняно з всебічним.

Отримані результати показали необхідність розробки рекомендацій з оцінки морозостійкості будівельних матеріалів в залежності від умов експлуатації об'єктів для яких вони призначені. Врахування виявлених залежностей в діючих нормативних документах дасть змогу більш диференційовано назначати вимоги з морозостійкості матеріалів, що неминуче призведе до зниження матеріалоемності виробів при одночасному підвищенні рівня безпечного функціонування. В цьому полягає практичне значення виконаних досліджень.

Запропонований підхід дозволяє більш об'єктивно оцінювати морозостійкість будівельних матеріалів, що сприятиме підвищенню довговічності споруд та зниженню матеріалоемності виробів без втрати рівня їхньої надійності.

Ключові слова: морозостійкість цементних матеріалів, довговічність цементних матеріалів, коефіцієнт пошкодженості матеріалу, кліматичні фактори.