

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту



ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

VI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ



ITT2025

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

**Тези доповідей 6-ої міжнародної
науково-технічної конференції**

«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Харків 2025

6-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 24–26 листопада 2025 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2025. – 300 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та машинобудівної галузей за чотирьма напрямками: розвиток інтелектуальних технологій при управлінні транспортними системами; транспортні системи та логістика; інтелектуальне проектування та сервіс на транспорті; функціональні матеріали та технології при виготовленні та відновленні деталей транспортного призначення.

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2025

- [1] Д'яченко Ю. В., Воронько І. О., Горлов О. К. Аналіз технологічних особливостей початкового і ремонтного фарбування виробів авіаційної техніки. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2022, № 5(183). С. 21-39.
- [2] Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О., Федоренко Є. П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів : монографія. Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.

УДК 620.1:621.7

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОДОБАВОК НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ ЧАСТКОВО СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ
ЦИРКОНІЮ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ У ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
МАТЕРІАЛАХ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**STUDY OF THE EFFECT OF NANOADDITIVES ON THE
PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PARTIALLY STABILIZED
ZIRCONIUM DIOXIDE USED IN FUNCTIONAL MATERIALS FOR
TRANSPORT APPLICATIONS**

*канд. техн. наук В.П. Нерубацький, д-р техн. наук Е.С. Геворкян,
канд. техн. наук Г.Л. Комарова, канд. техн. наук Л.В. Волошина
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Cand. of Eng. Sci. V.P. Nerubatskyi, Dr. Sc. E.S. Hevorkian,
Cand. of Eng. Sci. H.L. Komarova, Cand. of Eng. Sci. L.V. Voloshyna
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Підвищені вимоги до надійності та довговічності деталей транспортного призначення стимулюють пошук нових матеріалів із комплексом оптимальних властивостей, серед яких висока механічна міцність, підвищена зносостійкість і стабільність при високих температурах. Одним із перспективних напрямів удосконалення таких матеріалів є застосування керамічних композитів на основі частково стабілізованого діоксиду цирконію з включенням нанодобавок. Така модифікація дозволяє не лише контролювати мікроструктуру матеріалу, а й підвищувати його експлуатаційні характеристики. Частково стабілізований діоксид цирконію демонструє високу твердість, здатність до трансформаційного зміцнення та стабільність фаз при високих температурах [1, 2], що робить його перспективним для використання у вузлах тертя, високонавантажених підшипниках та компонентах двигунів внутрішнього згорання, де критично важлива стійкість до механічних та термічних навантажень.

Дослідження [3, 4] показують, що додавання наночастинок оксидів металів, карбідів та інших твердих фаз дозволяє модифікувати мікроструктуру матриці та підвищити її експлуатаційні властивості. Одним із основних ефектів є обмеження росту зерен діоксиду цирконію під час спікання, що зменшує внутрішню мікропористість та підвищує однорідність структури. Нанодобавки оксидів алюмінію, карбіду кремнію та вольфраму здатні зміцнювати зерна та

межі зерен, що приводить до підвищення механічної міцності та твердості матеріалу, а також зменшення ризику утворення тріщин під дією циклічних навантажень [5, 6].

Особливу увагу слід приділяти взаємодії нанодобавок з матрицею цирконію, оскільки хімічна сумісність та стабільність фаз визначають ефективність зміцнення та довговічність матеріалу. Наприклад, оксиди алюмінію утворюють дисперсні фази в зернах та на межах зерен, що обмежує зернове зростання та підвищує твердість [7]. Карбід кремнію сприяє підвищенню термічної стабільності, зменшенню термічного розширення та підвищенню зносостійкості [8], що є критично важливим для деталей, що працюють в умовах високих температур і тертя. Вольфрамові наночастинки утворюють тверді фази, які підвищують міцність матеріалу та його стійкість до ударних навантажень [9].

Методи синтезу керамічних композитів з нанодобавками, такі як електроспікання під високим тиском і температурою, забезпечують рівномірний розподіл наночастинок у матриці та високу щільність матеріалу [10, 11]. Контроль процесу спікання дозволяє регулювати розмір зерен, структуру пористості та розподіл фаз, що безпосередньо впливає на механічні та термічні властивості отриманих керамік. Результати досліджень [12] показують, що оптимальні пропорції нанодобавок дозволяють підвищити твердість до 20–30 % порівняно з базовою керамікою без добавок та забезпечують зростання стійкості до тріщиноутворення під дією циклічних механічних навантажень.

Застосування таких модифікованих матеріалів у транспортній галузі відкриває нові перспективи для створення функціональних градієнтних матеріалів, які можуть витримувати складні умови експлуатації. Наприклад, компоненти двигунів, елементи гальмівних систем, підшипники тертя та високонавантажені опорні вузли можуть виготовлятися з кераміки, що поєднує високу твердість, міцність та термостійкість. Крім того, використання нанодобавок сприяє підвищенню стійкості до корозії та окислення, що є важливим при експлуатації у важких кліматичних умовах та у контакті з агресивними середовищами.

Важливим аспектом є також підвищення ресурсів експлуатації деталей. Зменшення зносу та поліпшення термічної стабільності дозволяє значно продовжити міжремонтний період вузлів і агрегатів, що зменшує експлуатаційні витрати та підвищує безпеку транспорту. Завдяки наномодифікації можна також корегувати коефіцієнт тертя та амортизаційні властивості матеріалу, що сприяє зниженню шуму та вібрації під час роботи механізмів.

Науково-практичне значення використання нанодобавок у частково стабілізованому діоксиді цирконію полягає у можливості цілеспрямованого формування властивостей матеріалу під конкретні умови експлуатації. Це дозволяє створювати функціональні матеріали з заданими характеристиками для високонавантажених та високотемпературних застосувань. Використання композитних керамік з наномодифікацією відкриває нові перспективи для розвитку транспортної промисловості, зокрема для підвищення довговічності деталей, зменшення маси вузлів та підвищення ефективності їх роботи.

Систематичне дослідження впливу різних типів нанодобавок та їх концентрацій на мікроструктуру і властивості матеріалу дозволяє вибирати оптимальні рецептури для конкретних функціональних потреб. Оптимізація складу та технології спікання забезпечує баланс між механічними властивостями, термостійкістю та зносостійкістю, що критично важливо для деталей транспортного призначення, які піддаються значним навантаженням у процесі експлуатації.

Таким чином, впровадження нанодобавок у керамічні композити на основі частково стабілізованого діоксиду цирконію є перспективним напрямом для створення високоефективних функціональних матеріалів транспортного призначення. Це дозволяє одночасно покращити механічні характеристики, зносостійкість та термостійкість матеріалу, підвищити ресурс експлуатації деталей, зменшити витрати на обслуговування та підвищити безпеку транспортних засобів. Високий потенціал таких матеріалів обумовлює необхідність подальших досліджень щодо оптимізації складу, процесів спікання та експлуатаційної поведінки композитів у реальних умовах.

- [1] Hevorkian E. S., Morozova O. M., Nerubatskyi V. P., Chyshkala V. O., Sofronov D. S., Moya S., Abarrategi A., Arnaiz B., Bondarenko M. A., Vovk R. V. Composite material based on zirconium dioxide partially stabilised with cerium oxide and aluminium oxide for bioengineering applications. *Functional Materials*. 2024. Vol. 31, No. 3. P. 351–358. DOI: 10.15407/fm31.03.351.
- [2] Nerubatskyi V. P., Hevorkian E. S., Vovk R. V., Krzysiak Z., Komarova H. L. The influence of zirconium dioxide nanoadditives on the properties of mullite-corundum. *Low Temperature Physics*. 2024. Vol. 50, No. 7. P. 558–568. DOI: 10.1063/10.0026282.
- [3] Mamalis A. G., Hevorkian E. S., Nerybatskyi V. P., Rucki M., Krzysiak Z., Morozova O. M. Effect of nanoadditives on the properties of partially stabilized zirconia. *Nanotechnology Perceptions*. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 26–46. DOI: 10.56801/nano-ntp.v19i3.325.
- [4] Hevorkian E., Michalczewski R., Rucki M., Sofronov D., Osuch-Słomka E., Nerubatskyi V., Krzysiak Z., Latosińska J. N. Effect of the sintering parameters on the structure and mechanical properties of zirconia-based ceramics. *Ceramics International*. 2024. Vol. 50, Issue 19, Part A. P. 35226–35235. DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.06.331.
- [5] Krzysiak Z., Gevorkyan E., Nerubatskyi V., Rucki M., Chyshkala V., Caban J., Mazur T. Peculiarities of the phase formation during electroconsolidation of Al_2O_3 – SiO_2 – ZrO_2 powders mixtures. *Materials*. 2022. Vol. 15, Issue 17. 6073. DOI: 10.3390/ma15176073.
- [6] Gevorkyan E. S., Sofronov D. S., Nerubatskyi V. P., Chyshkala V. O., Morozova O. M., Lebedynskyi O. M., Mateychenko P. V. A study on the formation and sintering of powders synthesized from ZrO_2 micro- and nanoparticles from fluoride solutions. *Journal of Superhard Materials*. 2023. Vol. 45, Issue 1. P. 31–45. DOI: 10.3103/S1063457623010057.
- [7] Balog M., Krizik P., Bajana O., Hu T., Yang H., Schoenung J. M., Lavernia E. J. Influence of grain boundaries with dispersed nanoscale Al_2O_3 particles on the strength of Al for a wide range of homologous temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 772. P. 472–481. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.164>.
- [8] Lai L., Niu B., Bi Y., Li Y., Yang Z. Advancements in SiC-reinforced metal matrix composites for high-performance electronic packaging: A review of thermo-mechanical properties and future trends. *Micromachines*. 2023. Vol. 14, Iss. 8. 1491. <https://doi.org/10.3390/mi14081491>.
- [9] Huang B., Tang J., Chen L., Yang X., Lian Y., Chen L., Liu X., Cui X., Gu L., Liu C.-T. Design of highly thermal-shock resistant tungsten alloys with nanoscaled intra- and inter-type K bubbles. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 782. P. 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.12.168>.
- [10] Trembecka-Wójciga K., Jankowska M., Lepcio P., Seviugina V., Korčušková M., Czeppe T., Zubrzycka P., Ortyl J. Optimization of zirconium oxide nanoparticle-enhanced photocurable resins for high-resolution 3D printing ceramic parts. *Advanced Materials*. 2025. Vol. 12, Iss. 11. 2400951. <https://doi.org/10.1002/admi.202400951>.
- [11] Duntu S. H., Tetteh F., Ahmad I., Islam M., Boakye-Yiadom S. Characterization of the structure and properties of processed alumina-graphene and alumina-zirconia composites. *Ceramics International*. 2021. Vol. 47, Iss. 1. P. 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.08.142>.
- [12] Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gzik-Szumiaty M., Gevorkyan E. S. Investigation of the effect of silicon carbide nanoadditives on the structure and properties of microfine corundum during electroconsolidation. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 4. P. 540–546. DOI: 10.1063/10.0017596.