

кінця конденсації

Аналіз корозійних поляризаційних кривих підтвердив зниження корозійної активності зі збільшенням вмісту вольфраму. Корозійні струми при концентраціях $W = 0,67; 8,27; 32,98$ мас.% становлять відповідно $6,606 \cdot 10^{-6}; 6,456 \cdot 10^{-6}; 6,025 \cdot 10^{-6}$ А/см², що свідчить про закономірне зменшення швидкості корозії.

Таким чином, дослідження підтвердили, що збільшення вмісту вольфраму в мідно-вольфрамових конденсатах сприяє підвищенню їхньої корозійної стійкості. При концентрації W до 8,27 мас.% корозійні процеси розвиваються інтенсивніше через анодне розчинення міді, тоді як при $W > 15,23$ мас.% утворення оксидної плівки стабілізується, що знижує швидкість корозії. Оптимальними з точки зору корозійної стійкості є зразки з вмістом W 20,39–32,98 мас.%, оскільки вони демонструють найменшу зміну маси і мають захисну оксидну плівку, що перешкоджає дифузії кисню до поверхні металу.

Отримані результати можуть бути використані для розробки технологічних процесів отримання корозійностійких композиційних матеріалів Cu-W, які знайдуть застосування у високотехнологічних галузях, що вимагають експлуатації матеріалів у агресивних середовищах.

Список використаних джерел:

1. Grechanyuk M. I., Grechanyuk V. G., Grechanyuk I. M., Chornovol V. O. Composite materials based on copper and tungsten obtained by the method of high-speed evaporation-condensation. *Modern Electrometallurgy*. 2021, No. P.45-50.
2. Grechanyuk M. I., Grechanyuk V. G., Grechanyuk I. M., Chornovol V. O. Structure and corrosion properties of copper and tungsten-based composite materials, produced by high-rate evaporation-condensation. *The Paton Welding Journal*. 2022, №026 P. 43-47. <https://doi.org/10.37434/tpwj2022.02.07>.
3. Вольфрам URL: [http:// www. Alhimikov.net / element / w.html](http://www.Alhimikov.net/element/w.html)

УДК 691.544

СТАН СВІТОВОГО РИНКУ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ГАЛУЗІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ УКРАЇНИ

Ілля Глумаков,
здобувач III рівня вищої освіти кафедри будівельних матеріалів
Катерина Пушкарьова,
д-р техн. наук, завідувач кафедри будівельних матеріалів, професор,
Марина Кочевих,
канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

На сьогоднішній день одним з найбільш інтенсивно зростаючих сегментів ринку нових технологій і матеріалів є інноваційні нанотехнології різного призначення [1]. Тому актуальним є аналіз поточного стану світового ринку

наноматеріалів, а особливо – можливості застосування нанотехнологій у виробництві композиційних будівельних матеріалів з урахуванням їхнього впливу на основні експлуатаційні властивості наномодифікованих матеріалів [2]. Розвиток нанотехнологій в будівельній галузі України можна розглядати як один з найбільш перспективних напрямків поліпшення її економічного і науково-технічного стану [3]. До наноматеріалів умовно відносять такі, що містять структурні елементи (наноблоки, кластери, кристали), геометричні розміри яких хоча б в одному напрямку не перевищують 100 нм та характеризуються якісно новими функціональними та експлуатаційними властивостями. Наноматеріали представлені нанокластерами, нанокристаллами, фулеренами, астроленами, нанотрубками. Сучасні технології дозволяють отримувати матеріали з розміром частинок менш ніж 100 нм у виробничому циклі до декількох тон на рік. Серед досліджених та впроваджених у виробництво наноматеріалів за останні десятиліття є графен, фулерен, нанокристалічні оксиди титану, кремнію, алюмінію, вуглецеві нанотрубки тощо [1, 4].

Інтерес до наноматеріалів викликаний в першу чергу їх властивостями, які проявляються при взаємодії їх з традиційними складовими, внаслідок чого утворюються композиційні матеріали, властивості яких в рази перевищують вже відомі аналоги [3]. Так, отримані за новітніми технологіями наноматеріали демонструють високі фізико-механічні властивості (твердість, міцність на згин та на стиск), триботехнічні (зносостійкість, коефіцієнт тертя), електричні та ряд інших властивостей, що дозволяє їх успішно застосовувати в будівельній галузі, в тому числі при вирішенні проблем, пов'язаних з довговічністю будівельних споруд (відштовхування вологи, пилу, бактерій) при збереженні їх естетичності; удосконаленням системи зберігання енергії, очищення води [2].

За даними міжнародної консалтингової компанії IMARC Group, глобальний ринок наноматеріалів станом на 2024 рік складав 36,7 млрд доларів. Оцінюється, що ринок зростатиме впродовж наступних років на 14.91% щороку і в 2033 році становитиме 136,47 млрд доларів (рис. 1) [1]. Станом на 2024 р. світовий ринок нанотехнологій поділяється наступним чином між регіонами (за долею ринку): лідируючу позицію займає Північна Америка (39%), друге та третє місце займають Європа та Азійсько-Тихоокеанський регіон (28% та 22% відповідно), за ними йдуть Латинська Америка (8%) та Близький Схід і Африка (3%) [4]. Ринок наноматеріалів продовжує активно розвиватися і, згідно даних Відомства по патентах та товарних знаках США, до списку країн, що отримали найбільшу кількість патентів у сфері нанотехнологій у 2023 році, увійшли США (4552 патенти), Південна Корея (952 патенти), Китай (877 патентів), Тайвань (655 патентів), Японія (594 патенти), Саудівська Аравія (319 патентів), Німеччина (225 патентів), Канада (176 патентів), Франція (167 патентів), Велика Британія (126 патентів) [5]. В Україні затверджені державні програми, спрямовані на підтримку розвитку нанотехнологій, виділено низку технологій, що вже набули практичного застосування, а також окреслено перспективність

нанотехнологій та основні проблеми напрямку, які потрібно вирішити у найближчому майбутньому [2].



Рис.1. Стан та прогноз розвитку світового ринку наноматеріалів (в млрд. доларів США) [1]

Основними продуктами, наявними на ринку наноматеріалів, є хімічні речовини та полімери, оксиди металів та метали. Серед них попит на хімічні речовини та полімери є відносно вищим, і ця тенденція залишиться такою протягом наступних декількох років [1, 6]. Поширення та використання наноматеріалів зумовлено наявністю низки необхідних фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних характеристик, що обумовило їх багатофункціональність і перспективність впровадження в багатьох галузях промисловості.

Один з напрямів використання нанотехнологій в будівельній галузі – це можливість надавати традиційним будівельним матеріалам певних властивостей, досягнення яких ще донедавна вважалося нездійсненним. Сфера можливих застосувань наноматеріалів та нанотехнологій в галузі будівництва та у виробництві будівельних матеріалів дуже різноманітна, найбільш перспективними напрями їх використання з точки зору комерційної привабливості є наступні: сталеві конструкції та вироби; нанокompозитні полімерні труби; склопластикова композитна арматура; суперпластифікатори для контролю реологічних властивостей сумішей; мінеральні в'язучі матеріали, модифіковані наночастками полімерів, їх емульсіями або полімерними наноплівками, нанотрубками, нанопрокриття; наногелі, що мають тепло-, звукоізоляційні, стерилізуючі, самоочисні, енергозберігаючі властивості; безусадочні матеріали та матеріали з низьким КЛТР, з ефектом самозаліковування; матеріали з сенсорикою і заданими реакціями на зміну температури, вологості, напруження; високоміцний бетон з використанням нанокompозиційних порошкових добавок [2, 3, 7]. Наприклад, одним з актуальних напрямів, в якому останнім часом інтенсивно проводяться дослідження, є виробництво довговічного і високоміцного бетону з використанням композиційних нанопорошкових добавок, який згідно з розрахунками, може функціонувати без руйнування від 300 до 500 років. Для

створення такого високоміцного бетону як пластифікатори застосовуються наноініціатори, що представляють собою мікроскопічні порожнисті трубки в кілька атомарних шарів вуглецевих полімерів [2]. Практичні дослідження щодо використання наночастинок у бетонах свідчать про зростання міцності бетону більше ніж удвічі, морозостійкості – більше ніж на 50 % при зменшенні маси конструкцій, виготовлених із таких бетонів. Розроблено матеріали для відновлення залізобетонних конструкцій, що заповнюють мікропори та мікротріщини та полімеризуються, відновлюючи властивості конструкції; також вони можуть вступати в реакцію з продуктами корозії та відновлювати зчеплення бетону з арматурою [7, 9]. Доцільність використання нанобетону доведено в Нідерландах під час виготовлення паль для огороження узбережжя каналу. Показано, що незважаючи на підвищення вартості такого бетону (у 4 рази порівняно зі звичайним бетоном класу C50/60) зменшилися витрати бетону на 65% за рахунок зменшення поперечного перерізу конструкції. Таким чином, при незмінній вартості робіт є можливість економії матеріальних ресурсів [9].

В Україні також спостерігається зростання перспективних досліджень з використання високотехнологічних наноматеріалів в будівельній галузі [2]. Розроблені гідроізоляційні цементні розчини, модифіковані вуглецевими нанотрубками, диспергованими у розчинах пластифікаторів, які характеризуються високими показниками міцності і суттєво підвищують довговічність обробленого ними бетону [9]. Отримані надшвидкотверднучі портландцементні композиції та високоміцні бетони на їх основі за безпрогрівними технологіями збірного залізобетону шляхом модифікування органомінеральними добавками, що містять нанодисперсні частинки гідросилікатів кальцію [10]. Позитивний досвід використання багат шарових нанотрубок отримано під час виготовлення газобетону автоклавного твердіння, пінобетону, а також дослідження структуроутворення та властивостей легких бетонів: додавання вуглецевих нанотрубок до складу пінобетону стабілізує його структуру та усуває перфорацію стінок пор. При цьому міцність бетону зростає у 1,7 рази, а теплопровідність знижується на 20 % [3, 9]. Розроблені високоміцні легкі керамзитобетони класів LC16/18...LC50/55 на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою (на основі полікарбосилату та нанокремнезему) з підвищеною корозійною стійкістю, водонепроникністю W8 та морозостійкістю F400. Такі бетони можуть бути використані в житловому та цивільному будівництві при зведенні багатоповерхових споруд [11].

Таким чином, можна зробити висновок про те, що світовий ринок наноматеріалів демонструє стійке і тривале зростання з розширенням галузей їх застосування, що значно впливає на розвиток економіки України. Використання наномодифікаторів дозволяє не тільки змінити властивості композиційних матеріалів, але й суттєво вдосконалити технології їх отримання. Використання нанодобавок дозволяє створити нові композиційні матеріали, які відкривають шляхи удосконалення конструкцій будівель і споруд, що

проявляється не тільки у зменшенні їх маси, підвищенні терміну експлуатації, але й надає можливість створення нових архітектурних високоестетичних рішень з дотриманням концепції сталого розвитку.

Список використаних джерел:

1. IMARC Group Report: Nanomaterials Market Size, Share, Trends and Forecast by Product Type, Structure Type, End Use Industry, and Region, 2025-2033. URL: <https://www.imarcgroup.com/nanomaterials-market> (дата звернення 09.03.2025)
2. Згалат-Лозинська Л. О., Згалат-Лозинський О. Б. Активізація використання наноматеріалів та нанотехнологій як напрям інноваційної діяльності у будівництві. *Будівельне виробництво*. 2019. №68. С.30-38/
3. Панов Є. М., Шилович Т. Б., Шилович Я. І. Перспективи розробки та дослідження наномодифікованих композиційних будівельних матеріалів, *Вісник ВПІ*. 2018. Вип. 3. С. 7–13.
4. Precedence Research Report: Nanotechnology Market Size, Share, and Trends 2024 to 2034. URL: <https://www.precedenceresearch.com/nanotechnology-market> (дата звернення 09.03.2025)
5. Nanotechnology patents in USPTO: Top 10 Countries by USPTO Nanotechnology Patents in 2023. 28.02.2024. URL: <https://statnano.com/news/73495/Top-10-Countries-by-USPTO-Nanotechnology-Patents-in-2023> (дата звернення 09.03.2025)
6. ZION Market Research «Nanomaterials Market Size: Global Market Perspective, Comprehensive Analysis And Forecast, 2020-2028». URL: <https://www.zionmarketresearch.com/report/global-nanomaterials-market-size> (дата звернення 09.03.2025)
7. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review /Construction and Building Materials. 2010. Volume 24, Issue 11. Nov. p. 2060-2071. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014>
8. Мороз Л. В. Модифікація в'язучих та бетонів шляхом нанотехнологій. Огляд досягнень. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2020. № 3 (90). С. 44–51. URI: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/6821> (дата звернення 09.03.2025)
9. Саницький М.А., Марущак У.Д., Мазурак Т.А Наномодифіковані портландцементні композиції з високою міцністю у ранньому віці. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*. 2016. № 57. С. 147-153. (ISSN 2413-7693). URL http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii_2016_1_16
10. Pushkarova K. Sukhanevych M., Marsikh A. Using of untreated carbon.