

Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., ... & Richardson, D. M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>

Richardson, D. M., & Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species – A global review. *Diversity and Distributions*, 17(5), 788-809. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x>

Shackleton, R. T., Le Maitre, D. C., van Wilgen, B. W., Richardson, D. M., & Kull, C. A. (2019). Biological invasions in South Africa: A strategy for action. *Biological Invasions*, 21(3), 817–839. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1804-1>

Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., ... & Pyšek, P. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(1), 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>

Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L. L., Rejmánek, M., & Westbrooks, R. (1997). Introduced species: A significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology*, 21(1), 1-16. <https://doi.org/10.2307/24054664>

Інгібітори корозії на основі нанопрепаратів для збереження металофонду

Олена Бондар, Ірина Курмакова, Юрій Силенко

Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка,

Чернігів, Україна, bondar4elena@gmail.com, i.kurmakova@gmail.com,

ura.sulenko15@gmail.com

Ключові слова: металофонд, інгібітори, корозія, нанопрепарати

Техносфера є сукупністю штучних та природних об'єктів, які зазнають взаємного впливу. Це – кладна частина біосфери, в якій природні екосистеми перетворені людиною в техногенні або природно-техногенні комплекси шляхом прямого або опосередкованого впливу інформаційно-технічних засобів (Войцицький та ін., 2009).

Одним з проблемних питань для техносфери є руйнування металічних та бетонних споруд як наслідок впливу середовища. Корозія є основним чинником, що зумовлює значні втрати металофонду і спричиняє аварійний вихід з ладу обладнання, що іноді супроводжується важкими екологічними наслідками (Хома, 2021).

Увага дослідників до проблеми руйнування металів пояснюється можливістю зменшення витрат на корозію на 375 - 875 млрд доларів США на рік завдяки відповідальному ставленню до питань корозії та протикорозійного захисту і використанню організаційних систем управління та організаційно-економічного ризик-аналізу щодо корозійної небезпеки промислових об'єктів, як зазначено у доповіді керівництва Всесвітньої організації з питань корозії (The World Corrosion Organization, 2021).

Ефективним засобом захисту техногенних споруд від корозії в різних середовищах є застосування інгібіторів. Сучасним напрямком створення

інгібіторів, в тому числі для кислотних середовищ, є застосування нанотехнологій (Jain et al., 2020).

Перспективність застосування у протикорозійному наночастинок срібла, одержаних методом зеленого синтезу з використанням екстракту листя *Nicotiana tabacum* та розчинів аргентум нітрату, показано Rajkumari and all (Rajkumari, 2021). При концентрації препарату 200 ppm забезпечувався захист вуглецевої сталі від корозії в 1М хлоридній кислоті до 98 %.

Asafa et al. дослідили інгібувальну ефективність (ІЕ) наночастинок Ag у кислому хлоридному середовищі (1,0 М HCl) та показали, що вони більш ефективні при корозії нержавіючої та маловуглецевої сталі (ІЕ > 99 %) порівняно з корозією та алюмінію (ІЕ > 96 %) при концентрації інгібітора 20 mg/l (Asafa, et al., 2020).

Інгібітор на основі наночастинок золота забезпечує ефективність інгібування 88 %, 98 % і 96 % для алюмінію, маловуглецевої та нержавіючої сталі відповідно (Odusote, 2024), що підтверджено масометричним та електрохімічним методами. За даними потенціодинамічної поляризації показано, що присутність у середовищі наночастинок золота змінює механізм анодного розчинення шляхом утворення адсорбційного шару на поверхні металу.

Buraq T. SH. AL-Mosawi et al досліджено наночастинок ZnO, які показали ефективність у складі композицій для інгібуванні кислотної корозії сталі (AL-Mosawi, 2021). Зокрема, композиція, що містить 3-((3-acetylphenyl)imino)indolin-2-one та наночастинок ZnO в 1М хлоридній кислоті забезпечує ефективність інгібування корозії до 92%.

Метою даного дослідження було запропонувати та дослідити композиції, що склалися з наночастинок цинку та похідних оксазолу, в якості інгібіторів кислотної корозії для збереження металофонду.

Дослідження проведено електрохімічним методом (PGstat 500). Корозивне середовище 0,1М HCl, температура 293 К. Для уповільнення корозії додавали $5 \cdot 10^{-4}$ mol/l похідної оксазолу + 3 ml нанопрепарату з вмістом наночастинок Zn 4000 mg/l. Досліджені похідні оксазолу містили у другому положенні оксазольного циклу аміногрупу і відрізнялися замісниками в фенільному заміснику, розташованому в 4-му положенні гетеро циклу.

Поляризаційні катодну та анодну криві (10 mV/s) електроду зі сталі 45 знімали від стаціонарного потенціалу вільної електрохімічної корозії (E_{st}) з використанням 3-х електродної комірки. Електрод порівняння – хлорид срібний, допоміжний – Pt. За поляризаційними кривими визначали показники електрохімічної корозії: потенціали та струми вільної корозії та відповідних парціальних процесів. Розраховували ефективність інгібування у відсотках.

Досліджені композиції, як і похідні оксазолу, інгібують корозію сталі в кислому хлоридному середовищі. Ступінь захисту сталі перевищує 90 %, що дозволяє класифікувати сполуки та композиції як ефективні інгібітори кислотної корозії. При цьому E_{st} зміщується в анодну ділянку на 20 – 60 mV. Встановлено, що особливістю дії композицій порівняно з індивідуальними

речовинами є менший вплив на катодний процес, який відбувається з водневою деполаризацією. В той же час композиція на основі наночасток Zn до складу, якої входила сполука 4-фенілоксазол-2-амін, гальмує анодний процес розчинення заліза більш ефективно, ніж зазначена речовина. Це забезпечує високу ефективність композиції $5 \cdot 10^{-4}$ mol/l 4-фенілоксазол-2-аміну + 3 ml нанопрепарату з вмістом наночасток Zn і перспективність для проведення її подальших корозійних випробувань.

Таким чином, показана можливість створення композицій на основі наночасток цинку та похідних оксазолу, що інгібують кислотну корозію та забезпечують збереження металофонду.

Джерела інформації

Asafa, T.B., Odusote, J.K., Ibrahim O.S., Lateef, A., Durowoju, M.O., Azeez, M.A., Adedokun, O. (2020). Inhibition efficiency of silver nanoparticles solution on corrosion of mild steel, stainless steel and aluminum in 1.0 M HCl medium. *Materials Science and Engineering: conference paper Nanotechnology Applications in Africa 22-24 October, Ogbomoso, Nigeria: Opportunities and Constraints*. 1-17 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/805/1/012018

Buraq, T. SH. AL-Mosawi, Sabri, M. M., & Ahmed, M. A. (2021) Synergistic effect of ZnO nanoparticles with organic compound as corrosion inhibition *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16(2), 429–435, <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa076>

Jain, P., Patidar, B., & Bhawsar, J. (2020). Potential of Nanoparticles as a Corrosion Inhibitor: A Review. *Journal of Bio- and Tribo- Corrosion*, 6(43), 12. <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00335-0>

Kalajahi, S.T., Misra, A., & Koerdt, A. (2024), Nanotechnology to mitigate microbiologically influenced corrosion (MIC). *Front. Nanotechnol.* 6:1340352. doi: 10.3389/fnano.2024.1340352

Odusote, J., Asafa, T., Oseni, J., Adeleke, A., Adediran, A., Abolore, Y., Mohammed, J., & Adedayo, S. (2021). Inhibition efficiency of gold nanoparticles on corrosion of mild steel, stainless steel and aluminium in 1M HCl solution. *Materials Today: Proceedings*. 38. 578-583. 10.1016/j.matpr.2020.02.984.

Rajkumari, N., Alex, S., Soni, K.B., Anith, K.N., Viji, M.M., & Kiran, A.G., (2021) Silver nanoparticles for biolistic transformation in *Nicotiana tabacum* L. *Biotech.* 11(12). 497 <https://doi.org/10.1007/s13205-021-03043-9>

The World Corrosion Organizationю (2021). *A message for the World Corrosion Awareness Day 2021* <https://corrosion.org/>

Войцицький, А. П., Дубровський, В. П., & Боголюбов, В. М. (2009) Техноекологія. підручник. Аграрна освіта.

Хома, М. С. (2021). Стан і перспективи розвитку досліджень у галузі корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів в Україні. За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 27 жовтня 2021 року. *Вісн. НАН України*. 12. 99-106 doi: <https://doi.org/10.15407/visn2021.12.099>