

КАТАЛІТИЧНІ КОНВЕРТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ФІЛЬТРОВЕНТИЛЯЦІЇ – МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДИЗАЙНУ

Галак А. В., Сахненко М. Д., Індиков С. М.

ВСТУП

Застосування під час Першої світової війни хімічних речовин, як новітнього на той час різновиду зброї, призвело до появи загрози застосування хімічної, біологічної, радіологічної та ядерної (ХБРЯ) зброї, як знаряддя тероризму. Цей процес набув безперервного розвитку, свідченням чого стало використання нервово-паралітичних речовин терористами в Японії, нещодавнього відновлення їх використання державними суб'єктами, зокрема в Сирії, спроби вбивства у Великобританії та ін. Протягом останнього століття ХБРЯ загрози перемістилися з полів битв у цивільне середовище і в поточний час становлять значну та реальну загрозу для цивільного населення. Пандемія COVID-19 продемонструвала непередбачуваний характер розвитку ХБРЯ середовищ, з яким стикнувся без перебільшення весь світ. Окрім пандемії, цивілізована світова спільнота має бути готова до вирішення повного спектру загроз і небезпек ХБРЯ – від антропогенних катастроф до біотероризму і розповсюдження або використання зброї масового знищення. Розвідки союзників України неодноразово стверджували, що РФ, ймовірно, планує застосувати в Україні ХБРЯ зброю. Поширюючи хибну інформацію про біолабораторії в Україні, де нібито Пентагон розробляв біологічну зброю, Москва хоче підготувати підґрунтя для подальшої ескалації невиправданої воєнної агресії в Україні. Звинувачення з боку країни-агресора в тому, що Україна має намір застосувати хімічну та біологічну зброю, не припиняються. Інформаційні джерела союзників підтверджують вірогідність застосування Російською Федерацією ХБРЯ зброї шляхом підготовки операції під «чужим прапором» – заявляв міністр закордонних справ України Дмитро Кулеба. За його словами, російські чиновники фантазують про неіснуючу хімічну зброю в Україні з «маніакальною одержимістю». У країни-агресора існує чітка модель поведінки – вона або сама готується застосувати зброю масового ураження, або планує інсценувати напад ЗС України, щоб створити привід для симетричної відповіді та продовження війни.

Світовій спільноті достеменно відомо про неабияку небезпеку хімічної зброї, тому протягом цілого століття людство, прагнучи запобігти небезпечним наслідкам застосування хімічної зброї, вело активну боротьбу

за її заборону та утилізацію накопичених арсеналів. Проте, залишається чимало можливих джерел виникнення хімічної небезпеки – це можуть бути терористичні акти, супутні або зумисні аварії на хімічних підприємствах, агресія з боку неконтрольованої світовою спільнотою держави тощо. Разом із тим небезпека неконтрольованого поширення і застосування хімічної зброї, як і усвідомлення того факту, що значні обсяги накопичених отруйних речовин самі по собі становлять велику загрозу через значні труднощі забезпечення необхідного рівня їх зберігання є актуальною проблемою сьогодення¹.

Руйнування об'єктів підвищеної небезпеки, які знаходяться в країні, може призвести до зараження значних територій, до зон ураження потраплять як цивільне населення, так і підрозділи збройних сил, задіяні в бойових операціях. Внаслідок цього такі підрозділи можуть понести значні втрати особового складу, що вплине на їх боєздатність².

Зауважимо, що існуючі фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та мобільні, встановлені на бронеоб'єктах, як і фільтрувальні системи взагалі не захищають особовий склад від небезпечних хімічних речовин (НХР), таких як хлор, аміак, сірчаний ангідрид і т.і. Від ступеню захищеності особового складу залежить ефективність виконання завдань за призначенням, тому необхідно шукати підходи до вирішення проблеми.

За таких обставин пріоритетним напрямком розв'язання окресленого кола завдань є покращення ефективності роботи фільтрувальних систем за рахунок застосування безреагентних методів знешкодження токсикантів. В поточний час найбільш привабливим серед існуючих методів вбачається застосування фотокаталітичних конверторів знешкодження НХР і токсинів різної природи³.

1. Перспективні функціональні матеріали

Достеменно відомо, що в ролі матеріалів, яким притаманна фотокаталітична активність, широке розповсюдження набули численні напівпровідникові структури, головним чином оксидні. Як фотокаталізатори, насамперед, розглядають такі напівпровідникові матеріали, як TiO_2 , ZnO , CdS , Fe_2O_3 і WO_3 , у тому числі модифіковані

¹ Казмірчук Р. В., Ларіонов В. В., Ільченко В. В. Джерела та фактори виникнення небезпечної екологічної обстановки в зоні територіальної оборони. сили та засоби виявлення та оцінки. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2010. Вип. 1. С. 145-153.

² Галак О. В., Каракуркчі Г. В., Сахненко М. Д., Вєдь М. В. Пропозиції щодо подальшого вдосконалення засобів колективного захисту за досвідом анти-терористичної операції. *Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса)*. 2017. № 2 (8). С. 15-19.

³ Галак О. В., Сахненко М. Д., Каракуркчі Г. В., Матикін О. В., Белоусов І. О., Косарев О. В. Методи очищення газових викидів від небезпечних хімічних речовин для підвищення ефективності фільтрувальних систем. *Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ»*. Серія: *Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. 2018. № 18 (1294). С. 89-93. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2018.18.15>

різними елементами як в об'ємі, так і на поверхні, а також композити на їх основі⁴. Серед наведених фотокаталізаторів найбільш привабливим є титану (IV) оксид (TiO_2) завдяки хімічній інертності і нетоксичності, однак його властивості залежать від морфології, кристалічної форми, розміру частинок, питомої поверхні. Найбільш відомими модифікаціями TiO_2 є анатаз, рутил, брукіт і нова модифікація $\eta\text{-TiO}_2$ ($\eta\text{-TiO}_2$). Найбільший комерційний інтерес являє діоксид титану кристалічної модифікації анатазу, на поверхні якого під впливом ультрафіолетового випромінювання можуть бути окиснені до діоксиду вуглецю і води органічні сполуки різного складу, в тому числі отруйні речовини. В багатьох розвинених країнах фотокаталітичні очищувачі повітря давно увійшли в життя і побут громадян, зокрема в Японії, США і країнах західної Європи використовують фотокаталітичні очисники в кожному приміщенні, де необхідно очистити повітря від шкідливих органічних забруднювачів, бактерій і вірусів, цвілевих грибів.

Це, в першу чергу, лікувальні установи, дитячі та навчальні заклади, а також спортивні комплекси і житлові приміщення. Робота таких приладів базується на фотокаталітичному окисненні органічних домішок і мікроорганізмів на поверхні поруватого носія з інкорпорованим до складу покриття фотокаталізатором під впливом ультрафіолетового опромінювання.

Оксид титану при поглинанні кванта світла з енергією вище за 3,2 eV (це світло з довжиною хвилі менше 390 нм – ультрафіолет) генерує вільні носії зарядів – негативні (електрони) і позитивні вакансії (дірки). Електрони і дірки, виходячи на поверхню TiO_2 , вступають в окисно-відновні реакції за участю кисню повітря або парою води. В процесі цих реакцій утворюються сильні окисники, які безпосередньо і взаємодіють з різними органічними забруднювачами. Утворення такого роду частинок робить поверхню TiO_2 дуже активним окиснювачем, що дозволяє розкладати шкідливі речовини шляхом їх фотокаталітичної дезинтеграції до безпечних H_2O і CO_2 ⁵. Вказувалось, що на поверхні TiO_2 можуть бути окиснені (мінералізовані) до CO_2 і H_2O практично будь-які органічні сполуки. Єдиним відомим прикладом сполук, що не піддаються на поверхні TiO_2 окисненню під дією ультрафіолетових променів, є тетрахлорметан. Однак слід зазначити, що оксид титану, який зустрічається в природі в різних модифікаціях, як правило, не виявляє фотокаталітичної активності, тому для потреб фотокаталізу TiO_2 має бути синтезованим в певних умовах і мати нанорозмірну структуру.

⁴ Донцова Т. А., Бредихін І. В. Механізм фотокаталізу на поверхні TiO_2 . *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2013. № 3. С. 111-118.

⁵ Галак О. В., Сахненко М. Д., Каракурчі Г. В., Брянкін О. С., Белоусов І. О. Сучасні технології нейтралізації хімічно-небезпечних речовин. *Системи озброєння та військова техніка*. 2018. № 2 (54). С. 106-114. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.15>

2. Інженерія поверхні функціональних матеріалів

Раніше⁶ було досліджено діоксид титану, як ефективний фотокаталізатор, що руйнує широкий спектр токсичних хімічних речовин. Як правило, фотокаталізатори на основі діоксиду титану виготовляються в формі порошків, що ускладнює їх широке практичне застосування в різних технологіях, оскільки потребує спеціального обладнання для організації перебігу процесу фотокаталічного розкладання токсикантів, забезпечення агрегативної стійкості суспензії, наступного відділення диспергованого фотокаталізатора і т.і. Саме з огляду на такі недоліки застосування TiO₂ в порошкоподібній формі для потреб фотокаталізу цілком обгрунтованим вбачається використання фотокаталітичних матеріалів у формі тонкошарових покриттів на металевих носіях – платформах. В ролі металевих платформ доцільно застосовувати сплави титану, що дозволяє формувати шари фотокаталізатора з регульованою морфологією, напередзаданою питомою поверхнею та іншими структурними характеристиками, а також організувати легування оксидної матриці необхідними елементами для підвищення функціональних показників, оскільки відомо, що складні двокомпонентні оксидні системи виявляють значно вищу активність і селективність⁷⁸. Модифікація досягається за рахунок допування металами, створення композитів на основі двох напівпровідників, оксидних нанесених систем тощо⁹¹⁰. Створення композитів (у т.ч. гетероструктур) на основі двох напівпровідників становить перспективний напрям для збільшення ефективності фотокаталітичного процесу завдяки кращому розподілу зарядів і розширенню діапазону діючого світла.

Окрім цього, іншими привабливими рисами такого способу організації фотокаталітичних процесів є можливість створення багатокомпонентних гетерооксидних покриттів, формування багатоелементних пристроїв та фотокаталітичних конверторів напередзаданої архітектури. Комплексне

⁶ Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2005. Vol. 44, No. 12. Pp. 8269-8285. <https://doi.org/10.1143/JJAP.44.8269>

⁷ Zaleska A. Doped-TiO₂: A Review. *Recent Patents on Engineering*. 2008. Vol. 2. Pp. 157-164. <https://dx.doi.org/10.2174/187221208786306289>

⁸ Karakurkchi A., Sakhnenko M., Ved' M., Galak A., Petrukhin S. Application of Oxide-metallic Catalysts on Valve Metals for Ecological Catalysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5/10 (89). Pp. 12-18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109885>

⁹ Photoactive Inorganic Nanoparticles: Surface Composition and Nanosystem Functionality (Micro and Nano Technologies Series) / Edited by Pérez Prieto J., González Béjar M. Elsevier, 2019. 284 p.

¹⁰ Fang-Xing X. Construction of Highly Ordered ZnO-TiO₂ Nanotube Arrays (ZnO/TNTs) Heterostructure for Photocatalytic Application. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2012. Vol. 4, № 12. Pp. 7055-7063. <https://doi.org/10.1021/am302462d>

розв'язання такого завдання вбачається у розробці наукового підґрунтя керованого синтезу покривів гетерооксидними та/або легованими оксидами титану (IV) на поверхні металевих носіїв, з домінантою використання в ролі носія сплавів титану, зокрема і поруватих, із застосуванням електрохімічних технологій. Цілком істотно, що вельми ефективним чинником керування фотокаталітичною активністю покривів залишається їх питома поверхня, тому визначення морфології гетерооксидних композитів, як і засоби керування цим параметром, є незмінною складовою системного дослідження металоксидних систем при визначенні їх функціональних властивостей.

Серед існуючих підходів можна виділити два основні технологічні способи¹¹ модифікування поверхні металів та сплавів (рис. 1).

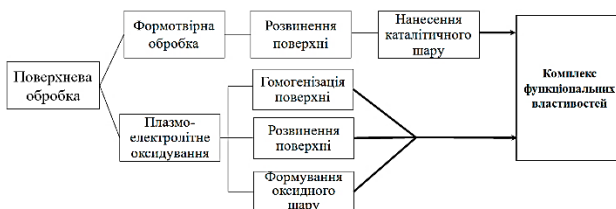


Рис. 1. Класифікація підходів до поверхневої обробки сплавів алюмінію

Перший пов'язаний із стадійним процесом, який включає послідовні етапи формотвірної обробки для одержання поруватої структури носія (основного металу) та наступне нанесення каталітичного шару¹². Для одержання високорозвиненої структури носія каталітичного шару використовуються різні стратегії синтезу. Основними серед них є електрохімічна обробка в нестационарних режимах, золь-гель метод, хімічне травлення або їх поєднання^{13,14}. Ступінь розвинення поверхні під час такої обробки характеризує розмір пор або каналів. Цей параметр є основним для

¹¹ Karakurkchi A., Sakhnenko M., Ved' M., Tulenko M., Dzhenuik A. Analysis of Technological Approaches to Electrochemical Surface Treatment of Aluminum Alloys. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3/12 (105). Pp. 44-55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206014>

¹² Scientific Bases for the Preparation of Heterogeneous Catalysts. *Studies in Surface Science and Catalysis*, Editor(s): G. Poncelet, P. A acobs, P. Grange, B. Delmon. Elsevier, 1991. Vol. 63. 748 p. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(08\)64639-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(08)64639-X)

¹³ Hartmann S., Sachse A., Galameau A. Challenges and Strategies in the Synthesis of Mesoporous Alumina Powders and Hierarchical Alumina Monoliths. *Materials*. 2012. Vol. 5(2). Pp. 336-349. <https://doi.org/10.3390/ma5020336>

¹⁴ Jani A. M., Losic D., Voelcker N. H. Nanoporous Anodic Aluminium Oxide: Advances in Surface Engineering and Emerging Applications. *Progress in Materials Science*. 2013. Vol. 58(5). Pp. 636-704. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.01.002>

прогнозування каталітичних властивостей матеріалів цього типу¹⁵. Для нанесення каталітичного шару на порувату структуру носія найчастіше використовують просочування одержаних матеріалів сполуками каталітичних композицій на основі солей перехідних металів із наступним їх термічним розкладанням. В цілому, розглянутий спосіб формування каталітичного матеріалу є багатостадійним та поєднує різні технологічні процеси. Під час обробки матеріалів складної структури для одержання задовільних експлуатаційних показників необхідним етапом є попередня підготовка їх поверхні для видалення домішкових компонентів¹⁶.

Інший підхід полягає у формуванні каталітичних матеріалів методом плазмо-електролітного оксидування (ПЕО). Особливості перебігу процесів під час ПЕО дозволяють поєднати в одному технологічному процесі поверхневої обробки етапи гомогенізації поверхневого шару, його розвинення та формування оксидного покриття. Введення до складу робочих електролітів додаткових компонентів сприяє утворенню гетерооксидних композиційних шарів із широким спектром функціональних властивостей¹⁷. ПЕО-покриття знайшли застосування у багатьох галузях, основною з яких є саме протикорозійний захист, каталіз та каталітичні матеріали¹⁸. Варіювання умов обробки забезпечує гнучке керування зазначеними процесами та формування матеріалів із заданими характеристиками.

3. Методика досліджень

Вивчення особливостей формування оксидних покриттів плазмово-електролітичним оксидуванням сплавів алюмінію та титану в дифосфатних електролітах проводили після додавання солей перехідних металів або їх окидів. Для формування оксидних покриттів використовували прямокутні зразки сплавів VT1-0 та АК12М2МgН робочою площею 0,2–1,0 дм². Підготовка поверхні включала операції механічної обробки (шліфування наждачним папером), знежирення та

¹⁵ Sulka G. Nanostructured Anodic Metal Oxides. Elsevier, 2020. 484 p.

¹⁶ Ved' M. V., Sakhnenko M. D., Bohoyavlens'ka O. V., Nenastina T. O. Modeling of the Surface Treatment of Passive Metals. *Materials Science*. 2008. Vol. 44 (1). Pp. 79-86. <https://doi.org/10.1007/s11003-008-9046-6>

¹⁷ Karakurkchi H. V., Sakhnenko N. D., Korohodska A. N., Yar-Mukhamedova G. S., Stepanova I. I., Zyubanova S. I. Features of Plasma-Electrolyte Synthesis of Heterooxide Nanocomposites on Multicomponent Alloys of Valve Metals. In: Fesenko, O., Yatsenko, L. (eds) *Nanooptics and Photonics, Nanochemistry and Nanobiotechnology, and Their Applications. Springer Proceedings in Physics*. 2023. Vol 280. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18104-7_10

¹⁸ Sakhnenko M., Stepanova I., Korogodskaya A., Karakurkchi A., Skrypnyk O., Dzhenuk A., Halak O. Patterns in the Electrochemical Synthesis of Thin-Film Photocatalytic Materials Based on Titanium Heterooxide Compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6, No 12 (120). Pp. 30-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269942>

травлення у лужному розчині з каскадним промиванням теплою та холодною водою.

Монооксидні покритви та гетерооксидні композиції (ГОК) синтезували в режимі ПЕО з 1,0 моль/дм³ водних розчинів K₄P₂O₇: для BT1-0 із додаванням 0,5 моль/дм³ фази оксидів, для АК12М2МгН – з додаванням 0,1–0,3 моль/дм³ MnSO₄ або KMnO₄, або 0,1 моль/дм³ CoSO₄.

ПЕО здійснювали за допомогою стабілізованого джерела В5-50, постійним струмом густиною 4–20 А/дм² та напрузі формування 150–300 В протягом 30–60 хв. Оскільки кінетика плазмо-електролітного окиснення металів істотно залежить від кислотності електроліту, важливим елементом процесу був моніторинг та стабілізація рН розчинів. Термообробку зразків з оксидними покритвами на сплавах титану проводили при 500°C протягом 20 хв. Хімічний склад одержаних покриттів визначали рентгенофлуоресцентним методом з використанням портативного спектрометра «СПРУТ», для верифікації результатів проводили енергодисперсійну рентгєнівську спектроскопію із застосуванням електронно-зондового мікроаналізатора Oxford INCA Energy 350, інтегрованого в систему сканівного електронного мікроскопа (SEM). Морфологію поверхні досліджували за допомогою SEM ZEISS EVO 40XVP, обробку зображення проводили із застосуванням програмного середовища SmartSEM, а також методом атомно-силової мікроскопії (АСМ) з допомогою мікроскопа NT-206. Візуалізували результати шляхом реконструкції рельєфу у вигляді 2D– і 3D-топографічних карт. Мікротвердість покриттів і носія визначали на твердомері ПМТ-3 при навантаженні 200 г. і часі витримки 10 с після 24-годинного старіння покриттів за кімнатної температури. Вимірювання проводили мінімум у 3 точках з наступним усередненням даних, товщина покриттів для аналізу становила не менше 30 мкм.

Фотокаталітичні властивості покриттів тестували в модельній реакції окиснення азобарвника метилового жовтогогарячого (МЖГ) в термостатованому фотокаталітичному реакторі за температури 25°C і безперервному перемішуванні, концентрація барвника становила 1,2·10⁻⁴ моль/дм³ (C₀). Розчин МЖГ (рН 6,3) з зануреними пластинами носіїв, на поверхню яких було нанесено фотокаталітичні монооксидні TiO₂, гетерооксидні TiO₂·ZnO та TiO₂·CuO, а також багатокомпонентні оксидні покритви, опромінювали ртутною лампою DeLux EBT-01, що випромінювала м'який ультрафіолет А. Попередньо всі розчини з зануреними каталізаторами витримували в темряві для встановлення адсорбційної рівноваги протягом 60 хв. Вміст барвника в реакторі визначали фотоколориметрично через рівні проміжки часу. Паралельно досліджували процес окиснення МЖГ без ультрафіолетового опромінювання та за відсутності фотокаталізатора. Для кількісного опису фотокаталітичних реакцій визначали константи швидкості реакції з лінеаризованих залежностей lnC_t/C₀, де C_t – поточна концентрація азобарвника, C₀ – вихідна концентрація реактанта.

4. Результати та їх обговорення

Хронограма напруги ПЕО сплаву алюмінію у робочому електроліті має класичний вигляд та містить чотири характеристичні області (рис. 2).

За густини струму 5 A/дм^2 початок іскріння відповідає $U_i = 50 - 60 \text{ В}$ (напруга іскріння), а кінцева напруга формування покриву до виникнення дугових розрядів становить близько 90 В . Дослідження динаміки формувальної напруги показало, що початкове зростання напруги зі швидкістю $0,7 \text{ В/с}$ відповідає утворенню бар'єрного шару оксиду алюмінію (рис. 2, ділянка I).

При появі мікророзрядів приблизно після 100 с оксидування спостерігалось уповільнення зростання напруги, пов'язане із виникненням іскрових розрядів внаслідок пробою оксидного шару (рис. 2, ділянка II). Змінення нахилу на хронограмі напруги відповідає переходу з іскрового режиму в мікродуговий та формуванню основного за товщиною шару ПЕО-покриву. Найбільш інтенсивне утворення шару покриву відбувається в мікродуговому режимі (рис. 2, ділянка III). Це пояснюється реалізацією не тільки електрохімічного окиснення, а й термохімічних реакцій, що забезпечують включення компонентів електроліту до оксидного шару, який формується. Покриття, отримане за 13 хв . Оксидування, характеризується максимальним значенням мікротвердості $H_v = 109,98 \text{ кг/мм}^2$.

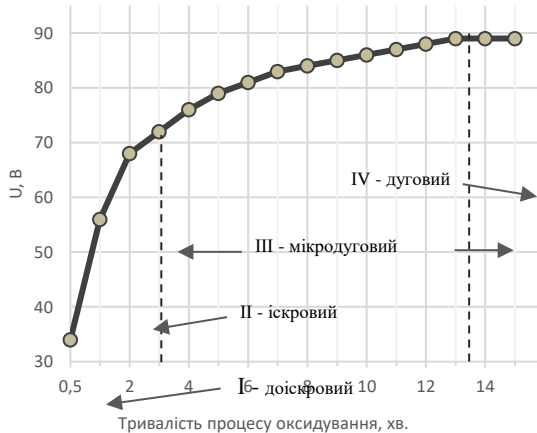


Рис. 2. Хронограма напруги формування ПЕО покриву на сплавах алюмінію в дифосфатному розчині

За тривалості оксидування сплаву понад 13 хв спостерігався перехід до дугового режиму – відбувалось укрупнення іскор із зменшенням їх

кількості. При цьому подальшого зростання напруги не спостерігали, а механічні властивості покритву лише погіршувались і ставали нестабільними. Зокрема, вимірювання мікротвердості покритву після оксидування понад 13 хв на різних ділянках робочої поверхні показало, що на одному і тому ж зразку значенням мікротвердості було в межах $H_V = 50 - 109 \text{ кг/мм}^2$.

Доведено, що ПЕО сплаву ВТ1-0 в електролітах на сплавах титану перебігає без істотних ускладнень, тому його електрохімічну обробку можна здійснювати одностадійно. У манганвмісних електролітах на сплавах титану формується емалеподібна рівномірна поверхня, яка складається зі сфероїдальних зерен (рис. 3). Також за цих умов проявляється характерна для оксидів титану трубчаста мікропорувата структура.

Результати тестування функціональних, зокрема каталітичних властивостей покриттів довели, що одержані в режимі ПЕО гетерооксидні композити виявляють високу каталітичну активність як в реакціях гетерогенного каталізу під час робочих процесів у двигунах внутрішнього згоряння (ГОК на платформах зі сплавів алюмінію), так і фотокаталітичної дезинтеграції токсидів у модельних середовищах (ГОК на платформах з титанових сплавів). Одержані результати склали підґрунтя для подальшого опрацювання елементних складів ГОК та визначення оптимальних режимів їх синтезу. З урахуванням позитивних результатів вирішення проблеми синтезу каталітичних покриттів за уніфікованою методикою на платформах з металевих носіїв головну увагу в подальшому було присвячено вирішенню завдань зі створення фотокаталітичних конверторів для анаглізації впливу ХБРЯ середовищ на об'єкти цивільного та військового призначення та систем колективного захисту як на бронетехніці, так і стаціонарних, які будуть захищати від НХР.

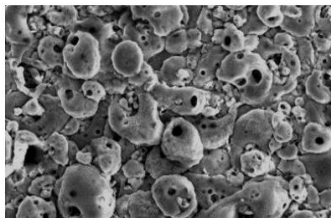


Рис. 3. Морфологія поверхні оксидних покриттів на сплавах ВТ1-0

При створенні фотокаталітичного повітроочищувача зі світлодіодною стрічкою однією з проблем було збільшення так званого «корисного опромінення», що характеризує кількість ультрафіолетових променів від окремого світлодіода, яке досягає опромінюваної ділянки. Ця частина потоку УФ-променів, що ефективно направляється на робочу

поверхню без урахування втрат випромінювання. Втрати випромінювання можуть виникати з трьох причин: УФ-промені частково загороджуються або розсіюються корпусом окремого світлодіода, випромінюються в неправильному напрямку через невірну орієнтації світлодіодів або потік випромінювання послаблюється через забруднення або запылення світловипромінюючої поверхні світлодіода.

Раніше нами було доведено^{19,20}, що в системах колективного захисту без істотних конструкційних змін та суттєвих матеріальних витрат можливо підвищити експлуатаційні характеристики таких систем за нанесеним шаром каталітичного матеріалу. Це надасть можливість знешкоджувати (розкладати) токсини різної природи за високих показників працездатності в широкому інтервалі температур та корозійної тривкості обладнання (рис. 4).

Мережеві титанові платформи з нанесеним шаром каталітичного матеріалу на основі титан (IV) оксиду та світлодіоди розміщені в конверторному блоці, який являє собою металевий трубчастий корпус. Світлодіоди розміщуються на однаковій відстані один від одного з мінімізацією втрат випромінювання. Довжина хвилі ультрафіолету, що випромінюють застосовані світлодіоди, складає 280-400 нм, кут розсіювання 60°. Далі очищене повітря по роздавальному рукаву потрапляє до лицевої частини протигазу б.

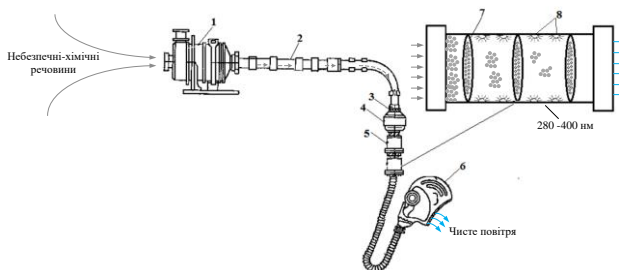


Рис. 4. Схема удосконаленої колекторної фільтровентиляційної установки ФВУ-3,5: 1 – фільтровентиляційний агрегат ФВА-3,5; 2 – гнучкий рукав; 3 – клапан; 4 – протигазова коробочка; 5 – електрокалорифер; 6 – лицева частина; 7 – мережка із сплаву титану; 8 – світлодіоди

¹⁹ Галак О. В., Каракуркчі Г. В., Кошкаров Ю. Ю. Фільтровентиляційні установки сучасності на броньованих типах Т-64. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2017. № 1 (50). С. 147-150.

²⁰ Галак О. В., Каракуркчі Г. В., Грибнюк Я. В. Фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на броньованих типах. *Системи озброєння і військової техніки*. 2016. № 4 (48). С. 5-9.

На рис. 5 показано схему конструкції удосконаленого конверторного блоку для встановлення на бронетехніці, в яку вмонтовано мережки з нанесеним шаром каталітичного матеріалу та світлодіодні УФ-випромінювачі.

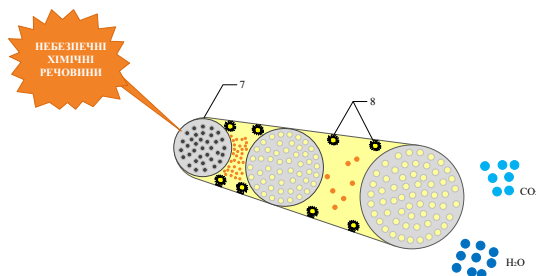


Рис. 5. Схема конверторного блоку: 7 – титанові мережки з нанесеним шаром каталітичного матеріалу, 8 – світлодіоди

Якщо до складу сполук входять азот або атоми галогену X, то в продуктах реакції будуть спостерігатись HNO_3 і HX , що змушує використовувати постфільтри з активованого вугілля. Опрацьований варіант конверторного блоку є базовим і дозволяє вносити корективи і удосконалення як у дизайн пристрою, так і елементну базу УФ опромінювачів, а також проводити технічне обслуговування пристрою.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу сучасного стану забезпечення захисту населення і військових підрозділів від імовірних факторів застосування ХБРЯ в зонах військових конфліктів встановлено, що існуючі системи колективного захисту та фільтровентиляційні системи кондиціонування повітря не можуть забезпечити захист від хімічно небезпечних речовин та токсидів у газоподібному стані.

2. Опрацьовано шлях вирішення проблеми розкладання токсичних речовин із застосуванням фотокаталітичних конверторів, в яких під дією УФ опромінення на поверхні каталітичного шару відбувається дезинтеграція практично всіх органічних речовин і токсикантів.

3. Показано, що в ролі фотокаталітичного шару, який формується на металевих платформах, високу ефективність демонструють моно- та гетерооксидні композити на основі титану (IV). Доведено високу ефективність формування означених фотокаталітичних матеріалів методом плазмоелектролітного оксидування, який надає можливість формувати розвинену поверхню металевої матриці та покрити напередзаданого складу.

4. Запропоновано принципову схему удосконаленої колекторної фільтровентиляційної установки ФВУ-3,5 та опрацьовано структуру конверторного блоку, у складі якого застосовано мережку зі сплаву

титану з нанесеним фотокаталітичним шаром та фотодіодні джерела УФ опромінення, що дозволяє забезпечувати безперебійне випромінювання в умовах вібрації, прискорень і механічних навантажень, а відтак, може застосовуватись не тільки в стаціонарних умовах, а і для облаштування мобільних транспортних засобів і бронетехніки.

АНОТАЦІЯ

Однією з загроз сьогодення в умовах воєнного стану в Україні є невиключена можливість утворення зон ураження ХБРЯ зброєю. В таких умовах перспективним напрямом захисту особового складу є дезинтеграція небезпечних хімічних речовин фотокаталізом, що вимагає удосконалення існуючих систем колективного захисту та фільтровентиляційних систем кондиціювання повітря.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що наявні системи ФВУ стаціонарних об'єктів і зразків автомобільної та бронетанкової техніки не забезпечують захист від ХНР. В прийнятих на озброєння сучасних зразках військової техніки фільтровентиляційні установки не передбачені конструкцією. Для забезпечення захисту від ХНР перспективним є удосконалення наявних систем колективного захисту із використанням оксидних каталізаторів, зокрема на сплавах титану.

Доведено, що для практичної реалізації фотокаталітичних технологій дезинтеграції газоподібних токсикантів на засобах бронетехніки та стаціонарних об'єктах військового призначення доцільно встановлювати у фільтри-поглиначі фільтровентиляційних установок мережку зі сплаву титану, на поверхні якої із застосуванням електрохімічних технологій формують шар монооксиду титану (IV) або гетерооксидного композиту. Нагальною потребою є визначення вимог до типу джерела ультрафіолету, що буде забезпечувати безперебійне випромінювання в умовах вібрації, різних прискорень і ударів, оптимізувати розміщення джерела ультрафіолетового випромінювання для зменшення розмірів і кількості «мертвих зон», до яких не потрапляє випромінювання, та визначити потужність опромінення.

Література

1. Казмірчук Р. В., Ларіонов В. В., Ільченко В. В. Джерела та фактори виникнення небезпечної екологічної обстановки в зоні територіальної оборони. сили та засоби виявлення та оцінки. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2010. Вип. 1. С. 145-153.

2. Галак О. В., Каракуркчі Г. В., Сахненко М. Д., Ведь М. В. Пропозиції щодо подальшого вдосконалення засобів колективного захисту за досвідом анти-терористичної операції. *Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса)*. 2017. № 2 (8). С. 15-19.

3. Галак О. В., Сахненко М. Д., Каракуркчі Г. В., Матикін О. В., Белоусов І. О., Косарев О. В. Методи очищення газових викидів від

небезпечних хімічних речовин для підвищення ефективності фільтрувальних систем. *Вісник Національного Технічного Університету «ХПИ»*. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. 2018. № 18 (1294). С. 89-93. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2018.18.15>

4. Донцова Т. А., Бредихін І. В. Механізм фотокаталізу на поверхні TiO_2 . *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2013. № 3. С. 111-118.

5. Галак О. В., Сахненко М. Д., Каракуркчі Г. В., Брянкін О. С., Белоусов І. О. Сучасні технології нейтралізації хімічно-небезпечних речовин. *Системи озброєння та військова техніка*. 2018. № 2 (54). С. 106-114. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.15>

6. Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. TiO_2 Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2005. Vol. 44, No. 12. Pp. 8269-8285. <https://doi.org/10.1143/JJAP.44.8269>

7. Zaleska A. Doped- TiO_2 : A Review. *Recent Patents on Engineering*. 2008. Vol. 2. Pp. 157-164. <https://dx.doi.org/10.2174/187221208786306289>

8. Karakurkchi A., Sakhnenko M., Ved' M., Galak A., Petrukhin S. Application of Oxide-metallic Catalysts on Valve Metals for Ecological Catalysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5/10 (89). Pp. 12-18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109885>

9. Photoactive Inorganic Nanoparticles: Surface Composition and Nanosystem Functionality (Micro and Nano Technologies Seris) / Edited by Pérez Prieto J., González Béjar M. Elsevier, 2019. 284 p.

10. Fang-Xing X. Construction of Highly Ordered ZnO-TiO_2 Nanotube Arrays (ZnO/TNTs) Heterostructure for Photocatalytic Application. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2012. Vol. 4, № 12. Pp. 7055-7063. <https://doi.org/10.1021/am302462d>

11. Karakurkchi A., Sakhnenko M., Ved' M., Tulenko M., Dzhenuik A. Analysis of Technological Approaches to Electrochemical Surface Treatment of Aluminum Alloys. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3/12 (105). Pp. 44-55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206014>

12. Scientific Bases for the Preparation of Heterogeneous Catalysts. *Studies in Surface Science and Catalysis*, Editor(s): G. Poncelet, P. A. Jacobs, P. Grange, B. Delmon. Elsevier, 1991. Vol. 63. 748 p. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(08\)64639-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(08)64639-X)

13. Hartmann S., Sachse A., Galarneau A. Challenges and Strategies in the Synthesis of Mesoporous Alumina Powders and Hierarchical Alumina Monoliths. *Materials*. 2012. Vol. 5(2). Pp. 336-349. <https://doi.org/10.3390/ma5020336>

14. Jani A. M., Losic D., Voelcker N. H. Nanoporous Anodic Aluminium Oxide: Advances in Surface Engineering and Emerging Applications. *Progress in Materials Science*. 2013. Vol. 58(5). Pp. 636-704. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.01.002>

15. Sulka G. Nanostructured Anodic Metal Oxides. Elsevier, 2020. 484 p.

16. Ved' M. V., Sakhnenko M. D., Bohoyavlens'ka O. V., Nenastina T. O. Modeling of the Surface Treatment of Passive Metals. *Materials Science*. 2008. Vol. 44 (1). Pp. 79-86. <https://doi.org/10.1007/s11003-008-9046-6>

17. Karakurkchi H. V., Sakhnenko N. D., Korohodska A. N., Yarmukhamedova G. S., Stepanova I. I., Zyubanova S. I. Features of Plasma-Electrolyte Synthesis of Heterooxide Nanocomposites on Multicomponent Alloys of Valve Metals. In: Fesenko, O., Yatsenko, L. (eds) *Nanooptics and Photonics, Nanochemistry and Nanobiotechnology, and Their Applications. Springer Proceedings in Physics*. 2023. Vol 280. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18104-7_10

18. Sakhnenko M., Stepanova I., Korogodskaya A., Karakurkchi A., Skrypnyk O., Dzheniuk A., Halak O. Patterns in the Electrochemical Synthesis of Thin-Film Photocatalytic Materials Based on Titanium Heterooxide Compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6, No 12 (120). Pp. 30-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269942>

19. Галак О. В., Каракуркчі Г. В., Кошкаров Ю. Ю. Фільтровентиляційні установки сучасності на броньованих типах Т-64. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2017. № 1 (50). С. 147-150.

20. Галак О. В., Каракуркчі Г. В., Грибинук Я. В. Фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на броньованих типах. *Системи озброєння і військової техніки*. 2016. № 4 (48). С. 5-9.

Information about the authors:

Galak Alexander Valentynovich,

Candidate of Technical Sciences,
Chief of the Department Military Institute of Armored Forces
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Sakhnenko Mykola Dmytrovych,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Physical Chemistry
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Indykov Serhii Mykolaiovych,

Postgraduate Student at the Department of Physical Chemistry
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine