

УДК 621.35

*М. В. ВЕДЬ, М. Д. САХНЕНКО, Г. В. КАРАКУРКЧІ, А. С. ГОРОХІВСЬКИЙ, О. В. ГАЛАК***ВИКОРИСТАННЯ ЗМІШАНИХ ОКСИДІВ КОБАЛЬТУ І АЛЮМІНІЮ  
ДЛЯ ВНУТРІШНЬО ЦИЛІНДРОВОГО КАТАЛІЗУ**

Розглянуто принципи формування конверсійних оксидних покриттів на висококремністому сплаві алюмінію у діфосфатних електролітах методом плазмово-електролітичного оксидування. Показано, що варіювання концентрації компонентів електроліту та параметрів електролізу (часу обробки і густини струму) сприяє формуванню оксидних покриттів різного складу і морфології, що включають матрицю оксиду основного металу та нестехіометричні оксиди кобальту. Сформовані змішані оксиди характеризуються мікроглобулярною структурою та значною кількістю каталітичних центрів, що забезпечує високу каталітичну активність в реакціях знешкодження токсикантів. Тому вбачається доцільним застосування таких покриттів у робочих процесах двигунів внутрішнього згорання для підвищення ефективності перетворення палива та зменшення токсичних газових викидів.

**Ключові слова:** сплав АК12М2МгН, плазмово-електролітичне оксидування, металоксидна система, оксиди кобальту, змішані оксиди, каталітична активність, внутрішньоциліндровий каталіз.

Рассмотрены принципы формирования конверсионных оксидных покрытий на высокремнистом сплаве алюминия в дифосфатных электролитах методом плазменно-электролитического оксидирования. Показано, что варьирование концентрации компонентов электролита и параметров электролиза (времени обработки и плотности тока) способствует формированию оксидных покрытий различного состава и морфологии, включающих матрицу оксида основного металла и нестехиометрические оксиды кобальта. Сформированные смешанные оксиды характеризуются микроглобулярной структурой и большим количеством каталитических центров, которые обеспечивают высокую каталитическую активность в реакциях обезвреживания токсикантов. Поэтому представляется целесообразным применение таких покрытий в рабочих процессах двигателей внутреннего сгорания для повышения эффективности преобразования топлива и уменьшения токсичных газовых выбросов.

**Ключевые слова:** сплав АК12М2МгН, плазменно-электролитическое оксидирование, металлоксидная система, оксиды кобальта, смешанные оксиды, каталитическая активность, внутрицилиндровый катализ.

The principles of the formation of conversion oxide coatings on the high-silica aluminum alloy in diphosphate electrolytes by the method of plasma-electrolytic oxidation are considered. It is shown that the variation in the concentration of the electrolyte components and the electrolysis parameters (processing time and current density) contributes to the formation of oxide coatings of various composition and morphology, including a matrix of base metal oxide and nonstoichiometric cobalt oxides. It was found that it is expedient to carry out oxidation in the regime of incident power. This promotes homogenization of the alloy surface and allows obtaining coatings enriched with the doping component (up to 30 at. %). The impurity content in the formed oxide layer in this case is minimal and is not more than 6.5 at. %. The formed mixed oxides are characterized by a microglobular structure and a large number of catalytic centers, which provide a high catalytic activity in the toxicants disposal. Therefore, it seems expedient to use such coatings in the work processes of internal combustion engines to improve fuel conversion efficiency and reduce toxic gas emissions.

**Key words:** alloy АК12М2МгН, plasma-electrolytic oxidation, metal oxide system, cobalt oxides, mixed oxides, catalytic activity, intracylinder catalysis.

**Вступ.** Широке використання алюмінію та його сплавів у різних галузях промисловості (авіа- та машинобудування, медицина, хімічна промисловість), а також в інноваційних технологіях висуває ряд вимог до їх корозійної стійкості, механічної міцності, трибологічних характеристик та каталітичної активності. Екологічні та технічні проблеми, що виникають при роботі двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), пов'язані з неповним згоранням палива і, відповідно, немінучим утворенням токсичних компонентів, таких як CO, NO<sub>x</sub> і сажа [1]. Одним із можливих шляхів підвищення ефективності роботи ДВЗ може бути використання каталізу безпосередньо в камері згорання [2, 3]. Оскільки каталітичні процеси характеризуються зменшенням енергії активації проміжних стадій, процес горіння і повне згорання палива відбуваються при більш низьких температурах (650 – 1200 К). Це приводить до

зниження максимального тиску в камері згорання і, отже, мінімізації викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами при форсованих режимах роботи двигуна. Наявні в даний час каталізатори горіння вуглеводного палива поділяються на дві групи: каталізатори на основі благородних металів (найчастіше Pd і Pt) і оксидів перехідних металів (Mn, Co, Fe і т.і.), особливо зі складним складом (шпінелі, перовскіти, гексаалюмінати) [2]. При високих температурах значні переваги демонструє сімейство каталізаторів на основі оксидів кобальту, які володіють високою термічною стабільністю і спорідненістю до кисню [3]. Утворення стехіометричних оксидів кобальту забезпечує не тільки термічну стабільність каталізаторів, а й приводить до значного підвищення реакційної здатності каталізатора. З точки зору раціонального проектування та ефективної технології представляється до-

цільним нанесення каталітичних шарів безпосередньо на робочі поверхні поршнів ДВЗ, виготовлених з ливарних складно легованих силумінів АК12М2МгН з оптимальним поєднанням фізико-механічних та експлуатаційних властивостей [4, 5].

Найбільш перспективним методом формування тонких шарів на пасивних металевих поверхнях, зокрема, силумінах, є плазмово-електролітичне оксидування (ПЕО).

Цей спосіб забезпечує включення каталітично активних компонентів в матрицю оксиду алюмінію за рахунок реалізації електрохімічних і термохімічних реакцій в високоенергетичних режимах [6, 7].

Проте, слід брати до уваги, що ПЕО силумінів є складним процесом, тому що ці матеріали містять велику кількість легуючих компонентів та інтерметалідів з різними хімічними властивостями їх оксидів. На підставі викладеного вище, основним завданням, яке визначило мету даного дослідження, є обґрунтування складу електроліту і режимів ПЕО для формування змішаного оксидного шару з високим вмістом кобальту на поверхні сплаву АК12М2МгН. Значний інтерес представляють дослідження, спрямовані на вдосконалення технології отримання оксидних покривів. Проте, переважна більшість традиційних методів не може забезпечити достатньо високу адгезію, зносостійкість і стійкість до корозії в поєднанні з певним набором властивостей, необхідних для цільового застосування функціональних матеріалів.

Метод плазмового електролітичного оксидування, який також називають мікродуговим або анодно-іскровим окисненням, дозволяє забезпечити високу адгезію оксидних покривів до підкладки, діелектричні, захисні, каталітичні, антифрикційні, та інші властивості [8 – 10]. Відмінною особливістю методу ПЕО є можливість формування конверсійних шарів, які включають як оксиди основного металу, так і компоненти електроліту або продукти їх електрохімічних і термохімічних перетворень.

Хімічний склад покривів, утворених ПЕО, визначається характером металу, що окислюється, параметрами процесу і природою компонентів електроліту, так що управління складом анодних шарів може значно поліпшити їх фізичні та хімічні властивості [8, 11], а також значно розширити функціональне використання вентильних металів та їх сплавів.

Метою роботи є дослідження впливу складу і морфології змішаних оксидів алюмінію та кобальту на показники роботи двигуна внутрішнього згорання.

#### **Методика експерименту.**

Дослідження проводили на зразках АК12М2МгН

складу, мас. %: Si – 11,5 – 13,0; Cu – 1,5 – 3,0; Ni – 0,8 – 1,3; Mg – 0,8 – 1,3; Mn – 0,3 – 0,6; Fe < 0,8; Zn < 0,5; Ti < 0,2; Pb < 0,1; Sn < 0,02; Cr < 0,2. Робоча поверхня зразків становила 0,5 см<sup>2</sup>. Підготовка поверхні включала послідовні процедури механічної зачистки, травлення в лужному розчині, ретельного промивання дистильованою водою і сушки.

Покриття формували в електролітах на основі дифосфата калію концентрацією 0,4 моль/дм<sup>3</sup> з добавками CoSO<sub>4</sub>. Розчини попередньої обробки і дифосфатні електроліти оксидування готували з сертифікованих реагентів марки «х.ч.» і «ч.д.а.» на дистильованій воді.

ПЕО проводили з використанням стабілізованого джерела живлення В5-50, який підтримує напругу до 300 В. ПЕО проводили в електролізері в умовах примусового охолодження електроліту до температури 25 – 30 °С і перемішування. Густину струму оксидування варіювали в межах 2 – 10 А·дм<sup>-2</sup>.

Хімічний склад покривів визначали за допомогою рентгенівської фотоелектронної спектроскопії з використанням енергодисперсійного спектрометра INCA Energy 350. Збудження рентгенівського випромінювання здійснювали обробкою зразків пучком електронів з енергією 15 кеВ. Крім того, проводили рентгенофлуоресцентний аналіз з використанням портативного спектрометра «СПРУТ» з відносним стандартним відхиленням 10<sup>-3</sup> – 10<sup>-2</sup>, похибка визначення вмісту компонентів становила ± 1 мас. %. Поверхню покривів досліджували сканівним електронним мікроскопом (СЕМ) ZEISS EVO 40 XVP. Зображення отримували за допомогою реєстрації вторинних електронів (BSE) шляхом сканування електронним пучком, що дозволяло досліджувати топографію з високою роздільною здатністю і контрастністю.

Шорсткість поверхні покривів вивчали за допомогою атомно-силового мікроскопа NT-206. Сканування проводили контактним методом з використанням зонда CSC-37 (матриця сканування 1024 × 1024, кантилівер В).

Каталітичні властивості отриманих оксидних систем тестували на одноциліндровому дизелі 1Ч12/14 у порівнянні з поршнем серійної конструкції за навантажувальними характеристиками при частоті обертання колінчастого валу  $n = 1200 - 1400 \text{ хв}^{-1}$ . Лабораторна установка включала обладнання для ініціювання робочих процесів двигуна, вимірювання концентрації токсичних речовин викидних газів [12].

Результати та їх обговорення. Результати експериментальних досліджень показали, що ПЕО сплаву АК12М2МгН в дифосфатних електролітах, що

містять кобальт (II), є класичним [13]. Встановлено, що ПЕО необхідно проводити в режимі падаючої потужності. Початкова густина струму  $i_0$  має бути вищою для формування бар'єрного оксиду алюмінію на поверхні підкладки АК12М2МгН, яке супроводжується окисленням легуючих компонентів, зокрема, кремнію, з утворенням розчинних сполук, що сприяє гомогенізації поверхні. Після того як процес переходить в режим стабільного іскріння, густину струму зменшують для забезпечення утворення змішаного оксидного шару.

Густина струму для першої стадії ПЕО в кобальт-дифосфатному розчині не повинна перевищувати  $5,0 - 10,0 \text{ A} \cdot \text{дм}^{-2}$  (рис. 1), в той час як другий етап окисдування доцільно проводити при густині струму  $2,0 - 4,0 \text{ A} \cdot \text{дм}^{-2}$ .

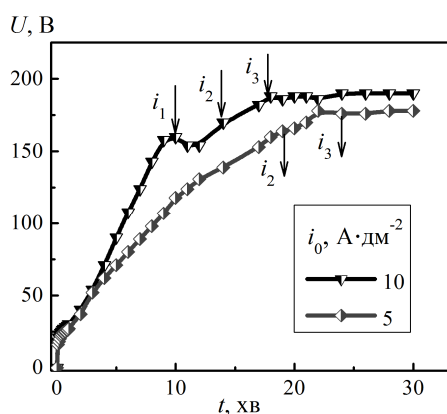


Рис. 1 – Хронограма напруги ПЕО

Характеристична напруга процесу ПЕО також залежить від складу електроліту: напруга іскріння  $U_i$  становить  $115 - 120 \text{ В}$ , а кінцева напруга формування  $U_f$   $140 - 160 \text{ В}$ . Слід зазначити, що напруга ПЕО зростає з розведенням електроліту і збільшенням густини струму. Вміст кобальту в змішаних оксидах також зростає з підвищенням густини струму, а рівномірність його розподілу на поверхні підвищується [14].

Склад багатокомпонентних оксидів залежить від співвідношення концентрацій компонентів електроліту і густини струму окисдування. Таким чином, оксидна система закономірно збагачується тим чи іншим компонентом по мірі зростання його вмісту в розчині, але стабільність електроліту та термін служби при цьому скорочуються. У той же час, підвищення концентрації дифосфата в електроліті небажано, оскільки це призводить до зниження ефективності процесу плазмово-електролітичної обробки. Морфологія поверхні та склад ПЕО покривів, легованих оксидами кобальту, залежать від концентрації електроліту і режиму ПЕО – густини струму, напруги і часу форму-

вання [15]. Включення кобальту в оксидні системи сприяє формуванню окремих сферіодних острівців характерного синьо-фіолетового кольору. Під час обробки кількість острівкових структур значно зростає, деякі з них поєднуються, агломеруються і утворюють оксидно-керамічні мозаїчні структури (рис. 2).

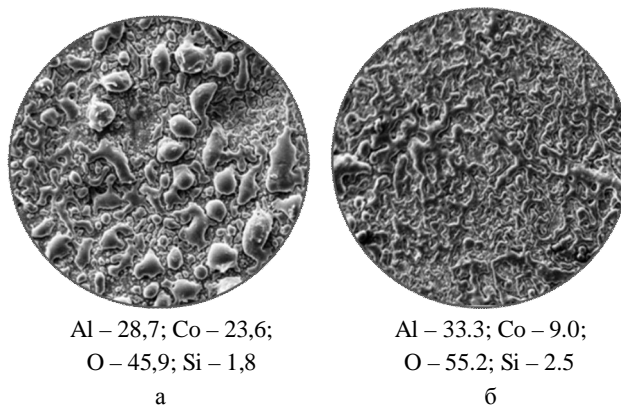


Рис. 2 – Морфологія та склад ПЕО-покривів (ат. %),  $\text{Al} | \text{Al}_2\text{O}_3\text{-CoO}_x$ , синтезованих в електроліті  $0,4 \text{ M K}_4\text{P}_2\text{O}_7$  при додаванні  $\text{CoSO}_4$ , моль/л: а –  $0,05$ ; б –  $0,1$ .

Чим вищий вміст кобальту (рис. 2 а), тим більш розвинутою, але в той же час менш рівномірною стає поверхня покриву, значна кількість сферіодів утворюється у покриттях із вмістом  $\text{Co}$  до  $30 \text{ ат. \%}$ .

На підставі аналізу хімічного складу покривів  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CoO}_x$ , синтезованих протягом  $15 - 60 \text{ хв.}$ , можна зробити висновок, що в середньому по поверхні вміст домішок, зокрема кремнію, не перевищує  $6,5 \text{ ат. \%}$  (рис. 3), що є дуже важливим для забезпечення високих каталітичних властивостей одержаного матеріалу. Аналіз складу оксидних систем вказує на нестехіометричне співвідношення кобальту і кисню, що є сприятливим для реалізації каталітичних процесів за участю кисню.

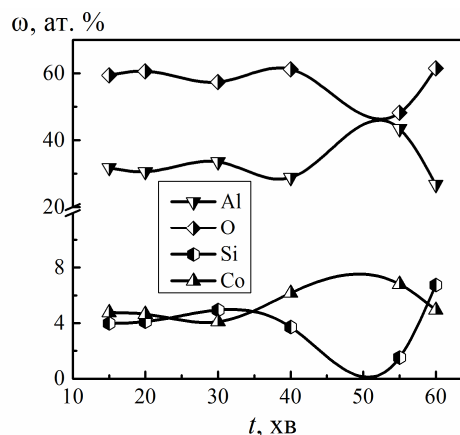


Рис. 3 – Залежність складу покривів  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CoO}_x$  від часу плазмово-електролітичного окисдування

За результатами аналізу АСМ зразків встановлено, що поверхня системи  $\text{Al} | \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}_x$  з вмістом кобальту 8 – 12 ат. % (рис. 4) є мікроглобулярною та характеризується високою шорсткістю. Змішані оксидні покриття складаються з конгломератів сфероїдів із середнім розміром 1 – 2 мкм, які об'єднуються і формують ділянки гладкої поверхні зі сферичними агломератами 6 – 8 мкм (рис. 4а та рис. 4б).

Шорсткість поверхні може бути охарактеризована поперечним перерізом конгломерату між маркерами 1 – 2 (рис. 4в).

Крім того, топографія поверхні оксидів характеризується досить значною різницею між виступами і упадинами від 0,3 мкм до 1,2 мкм, наявністю сфероїдів і торообразних структур, що чергуються (рис. 4в).

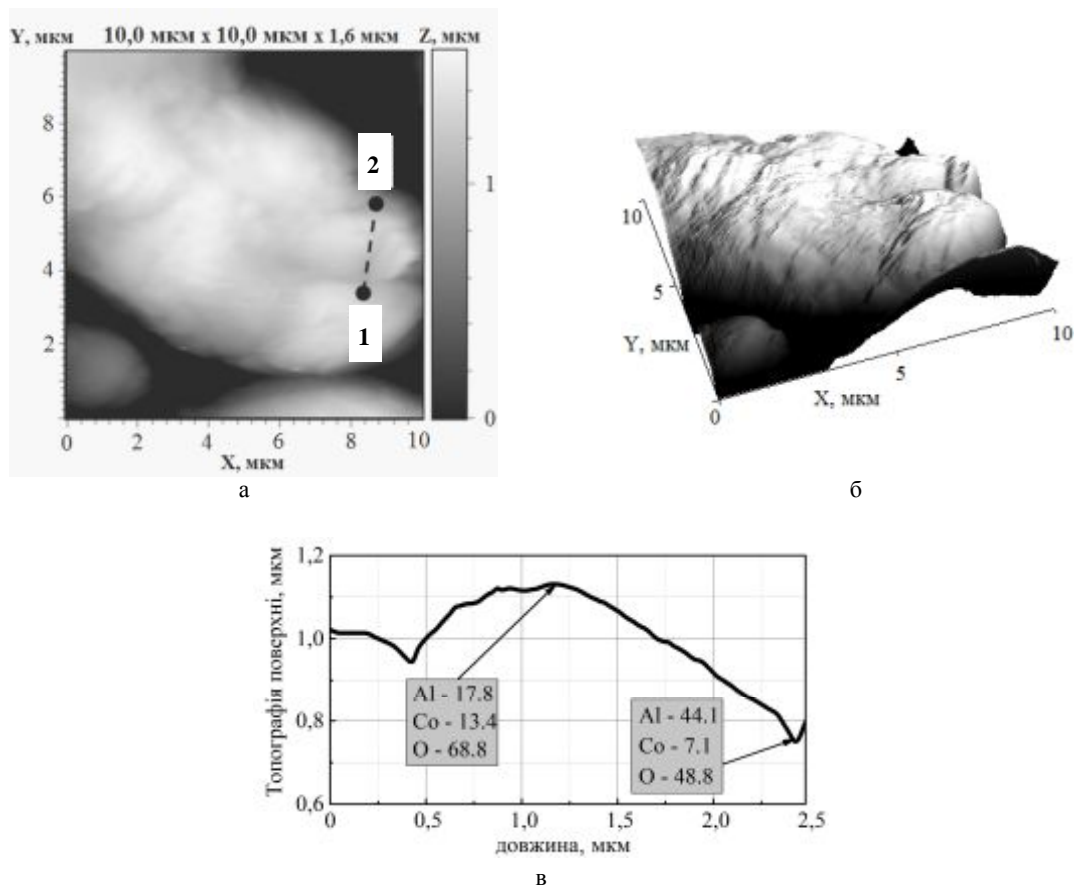


Рис. 4 – 2D-, 3D-карти поверхні та поперечний переріз поверхні  $\text{Al} | \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}_x$ . Область сканування 10 мкм.

Тестування оксидних покриттів в модельній реакції конверсії оксиду вуглецю (II) до  $\text{CO}_2$  показало, що їх активність (температура запалювання і температура повної конверсії) близька до показників платинового каталізатора [16]. Пілотні випробування змішаних оксидів, нанесених безпосередньо на поверхню поршня ДВЗ, показали зниження витрати палива на 4 – 6 % і зниження викидів оксидів азоту на 14 – 15 % при форсованих режимах роботи дизельних двигунів.

Це відбувається через зниження температури займання повітряно-паливної суміші на поверхні каталізатора  $\text{Al} | \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}_x$  – нестехіометричних оксидів з розвинутою поверхнею.

### Висновки

На алюмінієвому сплаві шляхом двоступеневого плазмово-електролітичного оксидування в діфос-

фатному електроліті з добавками сульфату кобальту (II) одержані змішані оксиди  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}_x$  з вмістом кобальту 8 – 30 ат. %. Встановлено, що поверхнева концентрація Si в змішаних покриттях в два-три рази нижче, ніж в оброблюваному сплаві. Співвідношення кобальту і кисню в покриттях є нестехіометричним, вмісту кобальту в змішаних оксидах зростає при збільшенні концентрації іонів кобальту в електроліті. При підвищенні концентрації кобальту морфологія поверхні  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}_x$  змінюється від рівномірної шорсткої до мікроглобулярної з досить великими сфероїдами. Одержані оксидні системи мають розвинену поверхню із великою кількістю каталітичних центрів, що складається зі сфероїдів та тороїдальних структур, що чергуються між собою. Застосування покриттів  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}_x$  в камерах згоряння сприяє економії палива і покращує екологічні характеристики

ДВЗ, внаслідок чого може бути рекомендовано для використання в системах нейтралізації газових викидів і для внутрішньоциліндрового каталізу ДВЗ.

#### Список літератури

1. Парсаданов И. В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: монография / И. В. Парсаданов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
2. Ведь М. В. Организация рабочего процесса в камере сгорания ДВС в присутствии каталитических материалов / М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, Е. В. Богоявленская // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 2. – С. 109 – 111.
3. Ведь М. В. Формирование каталитически активных покрытий на рабочих поверхностях камер сгорания ДВС / [М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, Д. С. Андрощук, Т. С. Ярошок] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – С. 73 – 76.
4. Парсаданов И. В. Дослідження дизеля з каталітичним покриттям поверхні камери згорання / [И. В. Парсаданов, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь та ін.] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – № 2. – С. 69 – 72.
5. Каракуркчі Г. В. Підходи щодо підвищення паливної економічності двигунів внутрішнього згорання бронетанкового озброєння та автомобільної техніки / [Г. В. Каракуркчі, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь та ін.] // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 26 – 31.
6. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов: в 2 т. / под общ. ред. И. В. Суминова. – М.: Техносфера, 2011. – Т. 2. – 512 с.
7. Сахненко Н. Д. Конверсионные и композиционные покрытия на сплавах титана: монография / Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь, М. В. Майба. – Х.: НТУ «ХПИ», 2015. – 176 с.
8. Ведь М. В. Каталітичні та захисні покриття сплавами і складними оксидами: електрохімічний синтез, прогнозування властивостей: монографія / М. В. Ведь, М. Д. Сахненко. – Х.: Новое слово, 2010. – 272 с.
9. Ved' M. V., Sakhnenko N. D. The Manganese and Cobalt oxides formation on Aluminum alloys. *Korroziya: materialy, zaschita*, 2007, No. 10, pp. 36 – 40.
10. Bykanova V. V., Sakhnenko N. D., Ved' M. V. Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the  $Ti_xZr_yO_z$  system. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 276 – 282. doi: 10.3103/S1068375515030047.
11. 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, No. 1, pp. 79 – 86. doi: 10.1007/s11003-008-9046-6.
12. Парсаданов И. В. Підвищення екологічності дизелів шляхом внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин відпрацьованих газів / [И. В. Парсаданов, М. Д. Сахненко, В. О. Хижняк, Г. В. Каракуркчі] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 2. – С. 63 – 67. doi: 10.20998/0419-8719.2016.2.12.
13. Ved' M. V., A. V. Karakurkchi, N. D. Sakhnenko, A. S. Gorohivskiy Synthesis of catalytic cobalt-containing coatings on alloy AL25 surface by plasma electrolytic oxidation. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 2017, Vol. 8, No. 1, pp. 73 – 79. doi: 10.15407/hftp08.01.073.
14. Sakhnenko N. D., Ved' M. V., Karakurkchi A. V. Nanoscale oxide PEO-coatings forming from diphosphate electrolytes. Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications (Selected Proceedings of the 4-th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO2016), August 24-27, 2016, Lviv, Ukraine), 2016, Vol. 195, pp. 507 – 531. doi: 10.1007/978-3-319-56422-7\_38.
15. Yar-Mukhamedova G. Sh., Ved' M. V., Karakurkchi A. V., Sakhnenko N. D. Mixed alumina and cobalt containing plasma electrolytic oxide coatings. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, Vol. 213, p. 012020. doi: 10.1088/1757-899X/213/1/012020.
16. Ved' M. V., Sakhnenko N. D., Karakurkchi A. V., Myrna T. Yu. Functional mixed cobalt and aluminum oxide coatings for environmental safety. *Functional materials*, 2017, Vol. 24, No. 2, pp. 303 – 310. doi: 10.15407/fm24.02.303.

#### References (transliterated)

1. Parsadanov I. V. *Povysheniye kachestva i konkurentosposobnosti dizeley na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya: monografiya* [Improving the quality and competitiveness of diesel engines on the basis of a comprehensive fuel and ecological criterion: monography]. Kharkov, NTU “KhPI” Publ., 2003. 244 p.
2. Ved' M. V. Sakhnenko M. D., Bohoyavlens'ka O. V. *Organizatsiya rabocheho protsessu v kamere sgoraniya DVS v prisutstvii kataliticheskikh materialov* [Organization of the working process in the combustion chamber of internal combustion engines in the presence of catalytic materials]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engines], 2013, No. 2, pp. 109 – 111.
3. Ved' M. V., Sakhnenko N. D., Androshhuk D. S., Jaroshok T. P. *Formirovaniye kataliticheskikh aktivnykh pokrytij na rabochnykh poverhnostyakh kamer sgoraniya DVS* [Catalytic coatings formation on working surfaces of combustion chambers ICE]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engines], 2014, No. 2, pp. 73 – 76.
4. Parsadanov I. V., Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Karyahin I. M., Khyzhnyak V. O., Androshchuk D. S. *Doslidzhennya dizeleya z katalitichnym pokryttyam poverkhni kamery zhoryannya* [Studies of diesel engine with a catalytic coating on the combustion chamber surface]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engines], 2015, no 2, pp. 69 – 72.
5. Karakurkchi H. V., Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Horokhivskyy A. S., Shchokin V. M. *Pidkhodny shchodo pidvyshchennya palyvnoyi ekonomichnosti dvyhunyv vnutrishn'oho z-horyannya bronetankovoho ozbroynennya ta avtomobil'noyi tekhniky* [Approaches to improve the fuel efficiency of internal combustion engines of armored and automotive machines]. *Systemy ozbroynennya i viyskova tekhnika* [Weapons systems and military equipment], 2016, No. 2, pp. 26 – 31.
6. *Plazmenno-elektroliticheskoe modifitsirovaniye poverkhnosti metallov i splavov: v 2 t.* I. V. Suminov (ed.) [Plasma-electrolytic modification of metals and alloys surface: in 2 vol.]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2011. T. 2. 512 p.
7. Sakhnenko N. D., Ved' M. V., Mayba M. V. *Konversionnyye i kompozitsionnyye pokrytiya na splavakh titana: monografiya* [Conversion and composite coatings on titanium alloys: monography]. Kharkov, NTU “KhPI” Publ., 2015. 176 p.
8. Ved' M. V., Sakhnenko M. D. *Katalitichni ta zachysni pokryttya splavamy i skladnyimi oksydami: elektrokhimichnyy syntez, prohnozuvannya vlastyvostey: monografiya* [Catalytic and protective coatings by alloys and composite oxides: electrochemical synthesis, properties prediction: monography]. Kharkiv, Nove slovo Publ., 2010, 272 p.
9. Ved' M. V., Sakhnenko N. D. The Manganese and Cobalt oxides formation on Aluminum alloys. *Korroziya: materialy, zaschita*. 2007, no. 10. pp. 36 – 40.
10. Bykanova V. V., Sakhnenko N. D., Ved' M. V. Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the  $Ti_xZr_yO_z$  system.

- Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 276 – 282. DOI: 10.3103/S1068375515030047.
11. 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, No. 1, pp. 79 – 86. DOI: 10.1007/s11003-008-9046-6.
  12. Parsadanov I. V., Sakhnenko M. D., Khyzhniak V. O., Karakurkchi H. V. Pidvyshchennya ekolohichnosti dyzeliv shlyakhom vnutrishn'otsylindrovoyi neytralizatsiyi toksychnykh rehovyn vidprats'ovanykh haziv [Improving the environmental performance of engines by intra-cylinder neutralization of toxic exhaust gases]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engines], 2016, No. 2, pp. 63 – 67. doi: 10.20998/0419-8719.2016.2.12.
  13. Ved' M. V., A. V. Karakurkchi, N. D. Sakhnenko, A. S. Gorohivskiy Synthesis of catalytic cobalt-containing coatings on alloy AL25 surface by plasma electrolytic oxidation. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 2017, Vol. 8, No. 1, pp. 73 – 79. doi: 10.15407/hftp08.01.073.
  14. Sakhnenko N. D., Ved' M. V., Karakurkchi A. V. Nanoscale oxide PEO-coatings forming from diphosphate electrolytes. *Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications* (Selected Proceedings of the 4-th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO2016), August 24-27, 2016, Lviv, Ukraine), 2016, Vol. 195, pp. 507 – 531. doi: 10.1007/978-3-319-56422-7\_38.
  15. Yar-Mukhamedova G. Sh., Ved' M. V., Karakurkchi A. V., Sakhnenko N. D. Mixed alumina and cobalt containing plasma electrolytic oxide coatings. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, Vol. 213, p. 012020. doi: 10.1088/1757-899X/213/1/012020.
  16. Ved' M. V., Sakhnenko N. D., Karakurkchi A. V., Myrna T. Yu. Functional mixed cobalt and aluminum oxide coatings for environmental safety. *Functional materials*, 2017, Vol. 24, No. 2, pp. 303 – 310. doi: 10.15407/fm24.02.303.

Надійшла (received) 07.02.18

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Використання змішаних оксидів кобальту і алюмінію для внутрішньоциліндрового каталізу / М. В. Ведь, М. Д. Сахненко, Г. В. Каракуркчі, А. С. Горохівський, О. В. Галак // Вісник НТУ «ХПІ».** – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 49 (1270). – С. 20 – 26. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0821.

**Использование смешанных оксидов кобальта и алюминия для внутрицилиндрового катализа / М. В. Ведь, Н. Д. Сахненко, А. В. Каракуркчи, А. С. Гороховский, А. В. Галак // Вісник НТУ «ХПІ».** – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 49 (1270). – С. 20 – 26. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0821.

**The use of mixed oxides of cobalt and aluminum for intracylindrical catalysis / M. V. Ved, M. D. Sakhnenko, A. V. Karakurkchi, A. S. Gorohivskiy, A. V. Galak // Bulletin of NTU “KhPI”.** – Series: Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2017. – No. 49 (1270). – P. 20 – 26. – Bibliogr.: 16 names. – ISSN 2079-0821.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Ведь Марина Віталіївна** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри загальної та неорганічної хімії, Харків; тел.: (050) 161–80–36, e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua

**Ведь Марина Витальевна** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры общей и неорганической химии, Харьков, тел.: (050) 161–80–36, e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua

**Ved' Maryna** – Doctor of Science, Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Professor of the Department of General and Inorganic Chemistry, Kharkov, tel.: (050) 161–80–36, e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua

**Сахненко Микола Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії, Харків, тел.: (050) 289–89–97, e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua

**Сахненко Николай Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой физической химии, Харьков, тел.: (050) 289–89–97, e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua

**Sakhnenko Nikolay** – Doctor of Science, Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Head of the Department of Physical Chemistry, Kharkov, tel.: (050) 289–89–97, e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua

**Каракуркчі Ганна Володимирівна** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», начальник науково-дослідної лабораторії, Харків; тел.: (063) 417–35–44, e-mail: anyutikukr@gmail.com.

**Каракуркчи Анна Владимировна** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», начальник научно-исследовательской лаборатории, Харьков; тел.: (063) 417–35–44, e-mail: anyutikukr@gmail.com.

**Karakurkchi Ann** – Candidate of technical science (Ph.D.), National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Head of the Research Laboratory, Kharkiv; tel.: (063) 417–35–44, e-mail: anyutikukr@gmail.com.

**Горохівський Андрій Сергійович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник, Харків; тел. (057) 372–61–67, e-mail: gorohivskiy86@gmail.com.

**Гороховский Андрей Сергеевич** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник, Харьков; тел.: (057) 372–61–67, e-mail: gorohivskiy86@gmail.com.

**Gorohivskiy Andriy** – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Research Associate, Kharkiv; tel.: (057) 372–61–67, e-mail: gorohivskiy86@gmail.com.

**Галак Олександр Валентинович** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», заступник начальника факультету з навчальної та наукової роботи – начальник навчальної частини, Харків; тел.: (057) 342–40–12, e-mail: galak79@gmail.com.

**Галак Александр Валентинович** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заместитель начальника факультета по учебной и научной работе – начальник учебной части, Харьков; тел.: (057) 342–40–12, e-mail: galak79@gmail.com.

**Galak Alexander** – Candidate of technical science (Ph.D.), National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Deputy Head for Education and Research – Head of Studies, Kharkiv; tel.: (057) 342–40–12, e-mail: galak79@gmail.com.