

УДК 621.357.5

*С. О. САМОЙЛЕНКО, В. П. ГОМОЗОВ, С. Г. ДЕРІБО, Т. А. БІЛОУС***ВПЛИВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ СПЛАВУ АМГ НА ПОВЕДІНКУ АНОДНИХ ОКСИДНИХ ПЛІВОК**

Розроблено технологію одержання високоякісної поверхні анодних оксидних плівок (АОП) на алюмінієвих сплавах АМг-3М шляхом їх послідовного механічного шліфування та полірування за допомогою алмазних паст різної зернистості. Вказана технологія дозволяє одержувати блискучу поліровану поверхню, значення R_a якої не перевищують 0,03 мкм. Проведено мікроаналіз матриці сплаву для визначення хімічного складу включень на поверхні алюмінієвих сплавах АМг, як перед процесом анодування, так і після, тобто безпосередньо на поверхні АОП. Визначено, що вміст легуючих елементів і домішок в одержаних АОП суттєво менший порівняно з їх концентрацією у сплаві. Одержані АОП відрізняються високими корозійно-захисними та діелектричними характеристиками.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, анодна оксидна плівка, поверхня, алмазна паста, полірування, діелектричні характеристики.

Разработана технология получения высококачественной поверхности анодных оксидных пленок на алюминиевых сплавах АМг-3М путем их последовательного механического шлифования и полирования с помощью алмазных паст разной зернистости. Указанная технология позволяет получать блестящую полированную поверхность, значение R_a , которое не превышает 0,03 мкм. Проведено микроанализ матрицы сплава для определения химического состава включений на поверхности алюминиевых сплавов АМг, как перед так и после процесса анодирования, то есть непосредственно на поверхности АОП. Определено, что состав легирующих элементов и примесей в полученных АОП существенно меньше, по сравнению с их концентрацией в сплаве. Полученные АОП отличаются высокими коррозионно-защитными и диэлектрическими характеристиками.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, анодная оксидная пленка, поверхность, алмазная паста, полирование, диэлектрические характеристики.

Aluminum alloys applied to their surface by anodic oxide films (AOF) have been widely used in the electronic industry for manufacturing electrical insulation layers of the bases of integrated circuits, systems of multi-level connections, LED fixtures and other devices. The technology of improving the quality of AOF on the АМг-3М alloy by mechanical processing of their surface has been developed. The treatment consists of sequential mechanical grinding and polishing of the AOF surface using diamond paste. The technology allows for a brilliant polished surface with $R_a \leq 0.03 \mu\text{m}$. The alloy matrix microanalysis was performed to determine the chemical composition of the inclusions on the surface of aluminum АМг alloys, both before and after the anodizing process, i. e. directly on the AOF surface. It is determined that the composition of alloying elements and impurities in the obtained AOF is much less, in comparison with their concentration in the alloy. The obtained AOFs are characterized by high corrosion-protective and dielectric characteristics. These dielectric characteristics of AOF can only be obtained under strict conditions of all operations of preparing the surface of an aluminum alloy before anodizing, when a very high purity of the aluminum base on which the porous AOF is formed and the anode oxidation regime is achieved, without which they are not maturing.

Keywords: aluminium alloy, anodic oxide film, surface, diamond paste, polishing, dielectric descriptions.

Вступ. На поверхні алюмінію та його сплавів під час їх анодування в електролітах, що не розчиняють алюміній та його оксид, формуються щільні бар'єрні АОП з високими діелектричними властивостями. Максимальна товщина таких бар'єрних АОП на жаль не перевищує 1 мкм.

У той же час в електролітах, які здатні певною мірою розчиняти оксид алюмінію, утворюються плівки, що складаються з оксидних комірок у формі гексагональних призм з каналом мікропори у центрі кожної з них. У водних розчинах сульфатної, щавлевої та деяких інших кислот при цьому можуть формуватися пористі АОП товщиною до 100 мкм. Такі плівки мають більш низькі діелектричні характеристики, порівняно з бар'єрними АОП. Поліпшення електроізоляційних властивостей пористих АОП звичайно здійснюють шляхом заповнення пор діелектричними матеріалами або модифікацією одержаної оксидованої поверхні [1].

Алюмінієві сплави з нанесеними на їх поверхню

діелектричними АОП знайшли застосування в мікроелектроніці для виготовлення анодованих корпусів та систем багаторівневих з'єднань, прецизійних мембран, світлових екранів, світлодіодних пристроїв, мікрополяризаторів, мікроканалних електронних помножувачів, сонячних елементів та ін.

Технологію електрохімічного оксидування алюмінієвої поверхні застосовують також для виготовлення гібридних інтегральних мікросхем та багатокристальних мікроелектронних модулів. Одержані при цьому структури являють собою діелектричні основи печатних плат та інтегральних схем, які застосовують насамперед у приладах силової електроніки для ефективного тепловідводу. Теплопровідність алюмінієвої основи становить 290 Вт/м·К, а теплопровідність анодних оксидних структур – 2,5...5,0 Вт/м·К, що більш як на порядок перевищує аналогічні показники систем, де в якості діелектрика застосовують склотекстоліт або фторопласт [2].

Створення вищевказаних пристроїв потребує ви-

сокої чистоти поверхні алюмінієвої основи як перед її анодним оксидуванням, так і після утворення на ній оксидної плівки. Поліпшення якості оксидованої поверхні викликає певні труднощі внаслідок незначної товщини та високої твердості АОП на алюмінієвих сплавах.

Аналіз літератури та постановка задачі. Алюмінієві сплави містять на своїй поверхні різноманітні забруднення, привнесені сюди під час підготовчих операцій, а також домішки, що попали в метал на стадії металургійного виробництва сплавів, у тому числі компоненти, які цілеспрямовано вводять у високолеговані сплави. Домішки можуть розчинятися у матриці сплаву, входити до складу інтерметалідних сполук чи знаходитися у вигляді неметалічних включень.

Алюмінієвий сплав АМг-3М відноситься до деформованих сплавів, зміцнення яких здійснюється не термічною обробкою, а в результаті утворення твердого розчину магнію в алюмінієвій матриці. Крім твердого розчину Al з Mg утворює сполуку Mg_2Al_3 (β -фазу), яка виділяється у вигляді відносно крупних скупчень. Під час нагрівання відбувається розчинення β -фази і сплав стає гомогенним. Сплав АМг-3М додатково легують Mn, який утворюючи дисперсні часточки сприяє зменшенню розмірів зерен. Крім Mg і Mn у сплавах АМг присутні Fe і Si, які роблять їх багатоконпонентними. Легуючі компоненти, реагуючи між собою, можуть утворювати різноманітні включення. У випадках коли концентрація домішок і легуючих елементів знаходиться вище їх розчинності у твердому розчині алюмінієвої матриці локальні сегрегації утворюють інтерметалідні сполуки. Найбільш розповсюджені серед них AlFeSi, Mg_2Si , AlMnMg₂, AlMnFeSi тощо [1].

Гетерогенні фазові складові алюмінієвих сплавів АМг під час анодної поляризації ведуть себе по різному: залежно від своєї природи вони можуть окиснюватися, розчинятися чи залишатися незмінними в оксидній плівці. У будь-якому випадку якість поверхні алюмінієвих сплавів після анодного оксидування суттєво погіршується. Як правило, включення величиною менше 50 нм під час анодного оксидування витравлюються або поглинаються анодною плівкою. Над великими за розмірами скупченнями домішок АОП взагалі не утворюються [3].

Гетерогенність алюмінієвих сплавів АМг призводить до гетерогенності одержаних АОП і, відповідно, до зниження електроізоляційних та захисних властивостей останніх. Звідкіля виникає необхідність у встановленні кореляції морфології і стану поверхні АОП з їх електрофізичними характеристиками, такими як опір, тангенс кута діелектричних втрат, електри-

чна ємність і міцність.

Метою роботи була розробка технології поліпшення якості поверхні АОП на алюмінієвому сплаві АМг-3М та підвищення їх корозійно-захисних і діелектричних властивостей.

Методика досліджень. Для досліджень застосовувалися плоскі зразки з алюмінієвого сплаву АМг-3М розміром $10 \times 10 \times 0,5$ мм, підготовка яких складалася з низки послідовних операцій:

1) відпал зразків за температури 475 К протягом 2 годин і охолодження разом з піччю протягом 6 годин;

2) відпал зразків за температури 625 К протягом 1 години і охолодження просто неба;

3) механічне полірування поверхні зразків за допомогою алмазних паст на вертикально-шліфувальних верстатах до 14 класу чистоти ($R_a = 0,005$ мкм);

4) очистка в ультразвуковій ванні в суміші (1 : 1) диметилформаміду та ізопропілового спирту протягом 10 хв.

Анодне оксидування сплаву здійснювалося при густині струму 2 А/дм^2 і температурі 292...295 К у водному розчині, що містив, г/л: шавлева кислота – 70, лимонна кислота – 40, борна кислота – 16. Процес анодного оксидування відрізнявся рівномірним ростом товщини плівки, випадків пробою АОП не спостерігалось. Товщина одержаних АОП змінювалася в діапазоні 8...50 мкм залежно від часу анодування.

Металографічні дослідження і фотографування поверхні зразків АМг-3М проводилися на оптичних мікроскопах МИМ-7 та ММУ-3.

Рентгеноструктурний аналіз здійснювався на установці УРС-55.

Рентгеноспектральний електронно-зондовий мікроаналіз (РМА) проводився на установці MAP-2. Діаметр пучку становив 1 мкм, глибина збудження 0,1...15 мкм.

Шорсткість поверхні контролювалася за допомогою профілометра «Faleshwerf-4» за величиною середньоарифметичного відхилення профілю R_a .

Діелектричні характеристики АОП визначалися відповідно ГОСТ 6433-71. Питомий об'ємний опір – R_v та питомий поверхневий опір – R_s вимірювали тераометром Е6-13А, тангенс кута діелектричних втрат – $\text{tg } \delta$ вимірювали за допомогою мосту змінного току Р5010, а напругу пробою – $U_{пр}$ визначали на установці, створеній на базі високовольтного трансформатора НОМ-10. Для вимірювань застосовувалися алюмінієві фольгові електроди діаметром 25 мм.

Корозійно-захисні властивості АОП на сплаві АМг визначалися згідно ГОСТ 9.302-88. На поверхні АОП наносилися крапля розчину, що містив 250 мл/л

хлоридної кислоти густиною 1,19 г/мл і 30 г/л калій дихромату. Критерієм захисної здатності покриття був час витримки, протягом якого помаранчева крапля розчину не змінювала свій колір на зелений. Анодні оксидні плівки на деформованих алюмінієвих сплавах, до яких відносяться сплави АМг, повинні витримувати подібні випробування протягом 30 хв. при температурах до 30 °С.

Результати досліджень та їх обговорення. На поверхні АОП було виявлено низку хімічних недосконалостей у вигляді сторонніх включень, наявність яких зумовлена структурою сплаву АМг-3М. Зокрема рентгеноструктурним аналізом було встановлено наявність у складі сплаву таких сполук, як Al_5Fe_2 , Mg_2Si та багато інших.

Для визначення хімічного складу таких включень було проведено порівняльний мікроаналіз матриці сплаву, а також найбільш значних включень на його поверхні як перед процесом анодування, так і після нього, тобто безпосередньо на поверхні АОП. Встановлено, що матриця сплаву (без урахування включень) містить, мас. %: Mg – 2,0...2,4; Mn – 0,1...0,3; Fe – 0,15...0,25; Si – 0,1...0,2; Cu – 0,06...0,08. В одержаних АОП вміст легуючих елементів і домішок виявився суттєво меншим порівняно з їх концентрацією у сплаві. Так, вміст Mg в АОП становив 0,3 %, а інтенсивність його спектральних ліній ледь перевищувала інтенсивність фону. Розподілявся Mg в плівці достатньо рівномірно, включення були відсутні. Mn в АОП також залишався в незначній кількості: його концентрація не перевищувала 0,08 %.

Включення, що містили Mn, Cu і Fe, під час анодного оксидування поступово витравлювалися, і на їх місці утворювалися заглиблення (мікропорожнини) різноманітних форм з розмірами 0,5...10 мкм і глибиною до 5 мкм.

Густина розподілу таких мікропорожнин на поверхні АОП сягала 10^6 см^{-2} . При цьому інтерметаліди типу Mg_3Al_2 , Mg_2Al_3 , Al_3Fe і Al_2Cu повністю розчинялися, а сполуки типу Al_6Mn , Al_3Fe , $AlFeSi$ розчинялися лише частково, утворюючи малорозчинні оксиди.

Si і пересичені їм фази не розчинялися, а включення, що містили Si, практично повністю унаслідувалися оксидною плівкою під час її формування.

Розміри таких включень дорівнювали 0,5...2,0 мкм, а їх поверхнева густина сягала $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$.

Однак хімічний склад включень у сплаві й оксидній плівці суттєво відрізнялися: якщо до анодного оксидування вони наряду з Si містили Mg, то після анодування Mg в їх складі не виявлено.

Це пояснюється тим, що Si у сплавах АМг утворює сполуку Mg_2Si , яка під час анодної поляризації

розпадається: Mg переходить в розчин електроліту, а Si залишається у плівці. Mg фіксується лише в матриці АОП, де його вміст зменшується в 6...7 разів порівняно з матрицею сплаву.

Наявність великої кількості порожнин і западин на поверхні АОП зумовлює значну шорсткість оксидованих алюмінієвих зразків.

Під час анодного оксидування сплаву АМг-3М величина R_a збільшується з 0,005 мкм до 0,07 мкм після 15 хв. обробки, до 0,12 мкм після 60 хв. обробки і до 0,45 мкм (8 клас чистоти) після 90 хв. обробки.

Після тривалого анодування зразків поверхня АОП набувала «зритого» характеру і містили виїмки глибиною до 10 мкм.

На профілограмах фіксувалися місця на поверхні АОП, де відбувалося найбільш інтенсивне витравлення включень.

Для зменшення шорсткості поверхні АОП був запропонований спосіб механічної обробки анодованих зразків сплаву АМГ-3М, який полягав у їх послідовному шліфуванні протягом 4,5 хв. (в деяких випадках протягом 10 хв.) та поліруванні протягом 20 хв. Шліфування здійснювалося за допомогою алмазної пасту «середньої блакитної зернистістю 20/14 (П)», яка дозволяла одержати 10-й клас чистоти поверхні ($R_a = 0,08...0,12 \text{ мкм}$).

Механічне полірування проводилося за допомогою «дрібною зеленою алмазною пастою зернистістю 7/5 (П), яка забезпечила одержання 12-го класу чистоти полірованої поверхні ($R_a = 0,03...0,04 \text{ мкм}$).

Як відомо, процеси шліфування і полірування завжди супроводжуються зніманням поверхневого шару поверхні, що обробляється.

При механічній обробці відносно тонких АОП їх товщина не повинна зменшуватися нижче певної величини.

Вибраний режим обробки забезпечив видалення рихлого поверхневого шару оксиду товщиною до 5 мкм. При цьому спостерігалось зниження шорсткості поверхні АОП: величина R_a зменшувалася від 0,45 мкм до 0,028 мкм.

Суттєво зменшувалася і густина розподілу дефектів на поверхні АОП.

На поверхні, що не піддавалася механічній обробці вона дорівнювала $1,4 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$, а розміри більшості заглиблень і западин коливалися в межах 3...10 мкм.

Після шліфування протягом 4,5 хв. і полірування протягом 20 хв. кількість дефектів на поверхні плівок знижувалося до $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$, а їх розміри не перевищували 3 мкм.

Подальше збільшення часу шліфування АОП виявилось недоцільним, оскільки після видалення рих-

лого поверхневого шару густина дефектів починала поступово зростати унаслідок викришування внутрішніх включень в структурі АОП.

Це пов'язано з відносно високою крихкістю і твердістю АОП на алюмінієвих сплавах: мікротвердість одержаних плівок становила 280 – 340 кг/мм².

На рисунку 1а наведені мікрофотографії вихідної поверхні АОП – (збільшення у 300 і 9000 разів відповідно) та цієї ж поверхні після її механічної обробки – рисунок 1б (збільшення у 300 і 12000 разів відповідно).

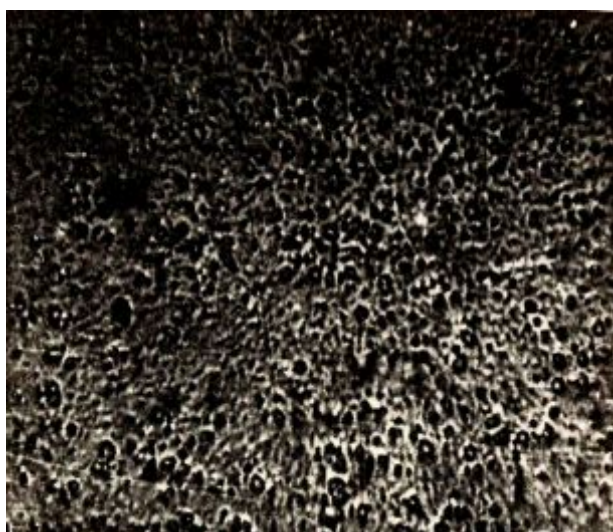
Як було встановлено, місця виходів мікропор на

поверхню АОП спостерігалися лише в межах поодиноких глибоких порожнин, які залишалися після шліфування нижче лінії зрізу.

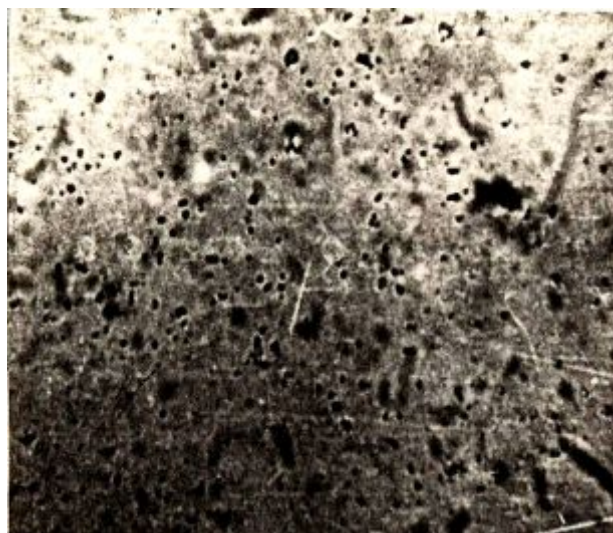
Під час шліфування зрізався верхній оксидний шар з конусоподібними виходами мікропор на поверхні плівки, а при поліруванні мікропори «закатувалися» остаточно.

Поверхня АОП після механічної обробки набувала блиску.

Після полірування поверхні АОП значною мірою поліпшувалися їх корозійно-захисні властивості.



а



б

Рис. 1 – Мікрофотографії поверхні АОП на сплаві АМг-3М: а – до механічної обробки; б – після механічної обробки.

Так, час до зміни кольору краплі розчину № 34 ГОСТ 9.302-88 на поверхні полірованих АОП товщиною 45 мкм сягав 60 хв., що вдвічі перевищувало вимоги, які пред'являють до оксидних покриттів на деформованих алюмінієвих сплавах.

У таблиці 1 наведені діелектричні характеристики АОП різної товщини, одержані на сплаві АМг-3М, які свідчать, що запропонована механічна обробка поверхні АОП покращує також їх електроізоляційні властивості.

Як відомо, товщина діелектрика визначається вимогами до його механічної та електричної міцності.

Так, напруга пробою ізоляційних шарів у електронних схемах повинна бути не менше 5 В/мкм, за умов, що товщина плівки буде не менше 1 мм.

Як видно з таблиці 1, електрична міцність одержаних плівок сягає 20 В/мкм.

Інші приведені в таблиці діелектричні параметри АОП також відповідають вимогам, що пред'являють до електроізоляційних основ електронних схем.

Але слід відмітити, що вказані діелектричні характеристики АОП можна одержати лише за умов чіткого виконання усіх операцій підготовки поверхні алюмінієвого сплаву перед анодуванням, коли досягалася дуже висока чистота алюмінієвої основи, на якій формуються пористі АОП, та режиму анодного оксидування, при якому не спостерігається розтравлювання поверхні вказаних АОП.

Таблиця 1 – Електричні характеристики АОП на алюмінієвому сплаві АМг-3М

Після анодування, протягом, хв.	Товщина плівки	Діелектричні характеристики АОП			
		$R_V \cdot 10^{11}$, Ом	$R_S \cdot 10^{11}$, Ом	tg δ	$U_{пр}$, В
15	8	4,6	0,7	0,022	–
30	15	7,4	5,5	0,042	900
60	28	4,2	10,8	0,090	1100
90	50	1,8	6,9	0,116	1220
Після механічної обробки плівки	45	90,4	95,0	0,012	1410

Висновок.

Запропоновано технологію одержання захисного оксидного шару на алюмінієвому сплаві АМг-3М.

Суть технології полягає в тому, що у водному розчині на основі шавлевої, лимонної та борної кислот на поверхні сплаву формуються пористі АОП товщиною до 50 мкм.

Поверхня оксидованих зразків піддається послідовному механічному шліфуванню та поліруванню за допомогою алмазних паст різної зернистості.

Така технологія дозволяє одержати високоякісну блискучу поверхню з $R_a < 0,03$ мкм.

АОП з полірованою поверхнею мають підвищені корозійно-захисні та електроізоляційні властивості.

Результати проведених досліджень можуть бути застосовні у процесах виготовлення метал-діелектричних основ для виробів електронної техніки.

Список літератури

1. Белецкий В. М. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение) / В. М. Белецкий, Г. А. Кривов – К.: КОМИНТЕХ, 2005. – 350 с.

2. Сокол В. А. Особенности применения пористых оксидов алюминия / В. А. Сокол, В. А. Яковцева, Д. Л. Шиманович // Доклады БГУИР. – 2012. – № 2 (64). – С. 21 – 27.
3. Самойленко С. О. Вплив анодного оксидування на хімічний склад алюмінієвих сплавів АМг / [С. О. Самойленко, В. Б. Байрачний, Д. П. Аткина, Р. В. Якушева] // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 4. – С. 165 – 167.

References (transliterated)

1. Beletskiy V. M., Krivov G. A. *Aluminiyevye splavy (sostav, svoystva, tekhnologiya, primeneniye)* [Aluminium alloys (composition, properties, technology, application)]. Kiev, KOMINTEKh, 2005, 350 p.
2. Sokol V. A., Yakovtseva V. A., Shimanovich D. L. *Osobennosti primeneniya poristyh oksidov aliuminiya* [Application features of porous alumina]. *Doklady BGUIR* [Reports of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics]. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2012, No. 2 (64), pp. 21 – 27.
3. Samoylenko S. O., Bayrachniy V. B., Atkina D. P., Yakusheva R. V. *Vplyv anodnoho oksyduvannya na khimichnyy sklad aliuminiyevykh splaviv AMh* [Influence of anodic oxidation on the chemical composition of aluminum alloys AMG]. *Voprosy himii i khimicheskoy tehnologii* [Questions of chemistry and chemical technology], 2011, No. 4 (2), pp. 165 – 167.

Надійшла (received) 05.12.17

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вплив механічної обробки поверхні сплаву АМг на поведінку анодних оксидних плівок / С. О. Самойленко, В. П. Гомозов, С. Г. Дерібо, Т. А. Білоус // Вісник НТУ «ХП». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХП». – 2017. – № 49 (1270). – С. 66 – 71. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0821.

Влияние механической обработки поверхности сплава АМг на поведение анодных оксидных пленок / С. А. Самойленко, В. П. Гомозов, С. Г. Дерібо, Т. А. Белоус // Вісник НТУ «ХП». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХП». – 2017. – № 49 (1270). – С. 66 – 71. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0821.

Influence of mechanical processing of the AMG alloy surface on the behavior of anodic oxide films / S. O. Samoilenko, V. P. Gomozov, S. G. Deribo, T. A. Bilous // Bulletin of NTU “KhPI”. – Series: Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2017. – No. 49 (1270). – P. 66 – 71. – Bibliogr.: 3 names. – ISSN 2079-0821.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Самойленко Сергій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, доцент кафедри хімії, мікробіології та гігієни харчування; тел.: (050)349-45-66; e-mail: serg2sam@gmail.com

Самойленко Сергій Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский государственный университет питания и торговли, доцент кафедры химии, микробиологии и гигиены питания, тел.: (050)349-45-66; e-mail: serg2sam@gmail.com

Samoilenko Sergey Alekseevych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Associate Professor at the Department of Chemistry, Microbiology and Hygiene of Feed, tel. (050)349-45-66; e-mail: serg2sam@gmail.com

Гомозов Валерій Павлович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії, тел.: (050)349-45-66, e-mail: vp.gomozov@gmail.com

Гомозов Валерий Павлович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры технической электрохимии, тел.: (050)349-45-66 e-mail: vp.gomozov@gmail.com

Gomozov Valeriy Pavlovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Technical electrochemistry, tel.: (050)349-45-66, e-mail: vp.gomozov@gmail.com

Дерібо Світлана Германівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії, тел.: (097) 186-13-45, sgd2408@gmail.com

Дерібо Светлана Германовна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры технической электрохимии, тел.: (097) 186-13-45, sgd2408@gmail.com

Deribo Svetlana Germanovna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Technical electrochemistry, tel.: (097) 186-13-45, sgd2408@gmail.com

Білоус Тетяна Андріївна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (097) 186-13-45; e-mail: beloustany@ukr.net

Белоус Татьяна Андреевна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; тел.: (097) 186-13-45; e-mail: beloustany@ukr.net

Bilous Tetiana Andriyivna – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, postgraduate student; tel.: (097) 186-13-45; e-mail: beloustany@ukr.net