

Майзеліс А.О.

Кінетика контактеного обміну металів

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

А.О. МАЙЗЕЛІС

КІНЕТИКА КОНТАКТНОГО
ОБМІНУ МЕТАЛІВ

Монографія



УДК 621.35
М 14

Рецензенти: *Т.О. Ненастіна*, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії та хімічної технології, Харківський національний автомобільно-дорожній університет;

А.М. Корогодська, доктор технічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Друкується за рішенням вченої ради Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», протокол № 10 від 29 жовтня 2021 р.

Майзеліс А.О.

М 14 Кінетика контактного обміну металів : монографія / А.О. Майзеліс. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2021. – 180 с.

ISBN 978-617-8059-23-1.

Представлені теоретичні основи вдосконалення електрохімічного методу визначення параметрів кінетики контактного обміну в електролітах. Представлені варіанти розрахунків за аналітичним методом Донченко-Антропова, показана доцільність використання поточної обробки експериментальних даних у випадках складної форми поляризаційних залежностей спряжених процесів і запропонований новий метод їх отримання – метод нелінійної поляризації за заданими даними. Проаналізовано умови контактного обміну сульфатних і комплексних електролітів для осадження Cu, сплавів Cu-Sn, Cu-Zn, Zn-Ni, що містять пірофосфатні, аміакатні комплекси і комплекси з різними органічними лігандами, з основою зі сталі, цинку, нікелю, алюмінієвого сплаву АМГ і рідкісноземельних неодимових магнітних сплавів.

Монографія призначена для фахівців гальванохімічних виробництв, малих підприємств, викладачів, наукових співробітників, аспірантів та студентів вищих навчальних закладів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія.

УДК 621.35

Іл. 131. Табл. 16. Бібліогр.: 133 назв.

Зміст

Вступ	7
Розділ 1. Контактний обмін в електролітах	10
1.1. Характеристика процесу контактного обміну	10
1.2 Контактний обмін як цільовий та як небажаний процес	13
1.3 Визначення швидкості контактного обміну	14
Розділ 2. Визначення параметрів кінетики контактного обміну аналітичним методом	17
2.1 Дослідження кінетики контактного обміну в системі $\text{Cu}^{2+}\text{-BF}_4\text{-Sn}$ для приготування розчину тетрафторборату олова	17
2.1.1 Характеристика поляризаційних залежностей спряжених процесів	17
2.1.2 Визначення параметрів кінетики контактного обміну	19
2.2 Дослідження кінетики контактного обміну на поверхні вуглецевої сталі в розчинах на основі тетрафторборатів міді і олова	22
2.2.1 Дослідження кінетики катодного процесу	23
2.2.2 Дослідження кінетики розчинення сталі	25
2.2.3 Дослідження кінетики контактного обміну	28
2.2.4 Дослідження міцності зчеплення покриттів зі сталлю	33
Розділ 3. Використання поточкових вихідних даних для визначення параметрів кінетики контактного обміну	36
3.1 Дослідження кінетики контактного обміну в низько- концентрованих за іонами міді розчинах	36
3.1.1 Дослідження кінетики контактного обміну на сталевій і нікельованій поверхні в низькоконцентрованому сульфатного електроліту міднення	41

3.1.2 Дослідження контактного обміну в електролітах, що містять комплекси міді з органічними лігандами	45
3.1.3 Контактний обмін в електролітах, що містять аміакатні та гліцинатні комплекси міді	48
3.1.4 Контактний обмін в пірофосфатних електролітах, що містять органічні речовини у якості додаткових лігандів	51
3.1.5 Порівняльний аналіз параметрів контактного обміну в низькоконцентрованих за іонами міді електролітах	59
3.2 Контактний обмін на поверхні вуглецевої сталі в електролітах, що мають пірофосфатні і аміакатні комплекси міді	61
3.2.1 Використання підшару міді для підвищення зчеплення покриттів з основою	61
3.2.2 Аналіз поляризаційних залежностей спряжених процесів	62
3.2.3 Залежність параметрів кінетики контактного обміну від потенціалу сталі	67
3.2.4 Зміна параметрів контактного обміну в часі	68
3.2.5 Порівняння міцності зчеплення мідних покриттів, що отримані в різних електролітах, з поверхнею вуглецевої сталі.....	74
3.3 Контактний обмін на поверхні вуглецевої сталі в пірофосфатних електролітах для осадження сплавів міді з оловом	78
3.3.1 Вплив рН пірофосфатного електроліту для осадження сплаву Cu-Sn на контактний обмін на поверхні олова і вуглецевої сталі СтЗ.....	79
3.3.2 Контактний обмін на поверхні вуглецевої сталі в пірофосфатно-трилонатному електроліті для осадження сплаву Sn-Cu	85
3.4 Контактний обмін на поверхні рідкісноземельних неодимових магнітів в електролітах, що мають пірофосфатні і аміакатні комплекси міді	88
3.4.1 Проблеми механічного і антикорозійного захисту неодимових магнітів	88

3.4.2 Кінетика взаємодії поверхні легованих кобальтом і диспрозієм неодимових магнітів з електролітами, що містять аміачні і пірофосфатні комплекси міді	90
3.4.3 Дослідження кінетики контактного обміну на поверхні рідкісноземельних магнітів NdFeB в пірофосфатно-аміакатному електроліті для осадження мультишарового покриття [(Cu-Ni) ₁ /(Cu-Ni) ₂] _n	98
3.5 Контактний обмін на поверхні алюмінієвого сплаву АМГ в пірофосфатних електролітах	104
3.5.1.Захист алюмінієвого сплаву АМГ гальванічними покриттями	104
3.5.2 Кінетика контактного обміну на поверхні сплаву АМГ в пірофосфатно-аміакатному електроліті для нанесення мультишарового покриття [(Cu-Ni) ₁ /(Cu-Ni) ₂] _n	106
3.5.3 Кінетика контактного обміну на поверхні сплаву АМГ в пірофосфатному електроліті для нанесення підшару сплава Ni-Cu	110
3.6 Дослідження контактного обміну на оцинкованій сталевій поверхні в низькоконцентрованому аміакатно-гліцинатному електроліті для осадження сплаву цинк-нікель	113
3.6.1 Вихідні дані для розрахунку швидкості контактного обміну.....	115
3.6.2 Визначення параметрів кінетики контактного обміну.....	118
3.6.3 Визначення корозійних властивостей цинкових покриттів з плівками сплавів Zn-Ni	118

Розділ 4. Використання багатоступеневого метода дослідження параметрів контактного обміну

4.1 Дослідження контактного обміну на поверхні цинку в низькоконцентрованому пірофосфатно-цитратному електроліті для осадження мультишарових покриттів [(Zn-Ni) ₁ /(Zn-Ni) ₂] _n	123
4.1.1 Вихідні дані для розрахунку параметрів кінетики контактного обміну.....	124
4.1.2 Розрахунок параметрів контактного обміну.....	125

Розділ 5. Використання нелінійної поляризації за заданими даними (НПЗД) при визначенні параметрів кінетики контактного обміну

5.1. Алгоритм реалізації методу НПЗД при визначенні параметрів кінетики контактного обміну	130
5.2 Дослідження контактного обміну методом НПЗД у пірофосфатно-цитратному електроліті для осадження мультишарових покриттів [(Cu-Zn) ₁ /(Cu-Zn) ₂] _n	131
5.2.1 Умови розімкнутого кола (етап I)	134
5.2.2 Аналіз лінійних поляризаційних залежностей спряжених процесів	135
5.2.3 Нелінійні поляризаційні залежності (етап II)	138
5.2.4 Розрахунок параметрів кінетики контактного обміну (етап III)	140
5.2.5 Аналіз параметрів процесу контактного обміну (етап IV).....	142
5.2.6 Вплив концентрації іонів Cu ²⁺ на швидкість розчинення сталі в умовах розімкнутого кола.....	148
5.2.7 Перевірка ефективності запропонованого методу	150
5.3 Контактний обмін у пірофосфатно-трилонатному електроліті для осадження мультишарових покриттів [(Cu-Sn) ₁ /(Cu-Sn) ₂] _n у порівнянні з пірофосфатно-цитратним, досліджений методом НПЗД	153
5.3.1 Вихідна характеристика контактного обміну в електролітах	153
5.3.2 Спряжені поляризаційні залежності в електролітах, отримані методом НПЗД	156
5.3.3 Розрахунок параметрів контактного обміну.....	158
Висновки	160
Список використаних джерел	163

Список використаних джерел

1. Екмекупар А. Investigation of copper cementation kinetics by rotating aluminum disc from the leach solutions containing copper ions / А. Екмекупар, М. Танайдин, N. Demirkiran // *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. – 2012. – V. 48. – P. 355–367.
2. Станкевич А.В. Кинетика контактного вытеснения золота алюминием с целью регенерации золота из растворов, содержащих цианидные комплексы / А.В. Станкевич, Т.Н. Воробьева, О.В. Якименко // *Сборник статей «Свиридовские чтения»*. – 2011. – Вып. 7. – С. 106–113.
3. Зависимость динамики процесса контактного обмена металлов от электрохимических параметров электродных процессов / [А.Б. Даринцева, И.Б. Мурашова, В.П. Артамонов, В.В. Артамонов] // *Электрохимия*. – 2007. – Т. 43. – №2. – С. 241-246.
4. Ротинян А.Л., Тихонов К.И., Шошина И.А. Теоретическая электрохимия / Под ред. А.Л.Ротиняна. – Л.: Химия, 1981. – 424 с.
5. Reinvestigation of nucleation and growth of Zn on Al surface during modified alloy zincating / [M.R. Adawiyah, O.S. Azlina, N.A. Fadil et al.] // *International Journal of Engineering and Technology* 8(6) (2017) 2558–2570.
6. Chen Y.H. Microstructural characteristics of immersion tin coatings on copper circuitries in circuit boards / Y.H. Chen, Y.Y. Wang, C.C. Wan // *Surface and Coatings Technology*. – 2007. – V. 202. – P. 417–424.
7. Carraro C. Metallization and nanostructuring of semiconductor surfaces by galvanic displacement processes / C. Carraro, R. Maboudian,

- L. Magagnin // *Surface Science Reports*. – 2007. – V. 62(12). – P. 499–525.
8. Re-dissolution of copper deposited onto porous silicon in immersion plating / [J. Sasano, R. Murota, Y. Yamauchi et al.] // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2003. – V. 559. – P. 125–130.
 9. Даценко В.В. Интенсификация процесса контактного вытеснения меди цинком и разработка ресурсосберегающего способа регенерации сточных вод гальванических производств / В.В. Даценко, Э.Б. Хоботова, В.И. Ларин // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2012. – № 6. – С. 44–48.
 10. Кинетические параметры контактного вытеснения меди цинком из сульфатных растворов / [В.В. Даценко, Э.Б. Хоботова, В.И. Ларин, М.А. Добриян] // *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія*. – 2012. – В.18(198). – с. 70-76.
 11. Reinvestigation of nucleation and growth of Zn on Al surface during modified alloy zincating / [V. Pachchigar, J. Varshney, S.K. Ghosh, V. Kain] // *Surface and Coatings Technology*. – 2020. – V. 382. – P. 125191.
 12. 25th Anniversary Article: Galvanic Replacement: A Simple and Versatile Route to Hollow Nanostructures with Tunable and Well-Controlled Properties / [X. Xia, Y. Wang, A. Ruditskiy, Y. Xia] // *Advanced Materials*. – 2013. – V.25(44). – P. 6313–6333.
 13. Balkis A. Galvanic Replacement of Electrochemically Restructured Copper Electrodes with Gold and Its Electrocatalytic Activity for Nitrate Ion Reduction / A. Balkis, J. Crawford, A.P. O'Mullane // *Nanomaterials*. – 2018. – V. 8(10). – P. 756.
 14. Electrocatalysts Prepared by Galvanic Replacement / [A. Papaderakis, I. Mintsouli, J. Georgieva, S. Sotiropoulos] // *Catalysts*. – 2017. – V. 7(3). – P. 80.
 15. Yang C., Facile fabrication of nickel nanostructures on a copper-based template via a galvanic replacement reaction in a deep eutectic solvent /

- C. Yang, Q.B. Zhang, A.P. Abbott // *Electrochemistry Communications*. – 2016. – V. 70. – P. 60–64.
16. Carbon supported PtNiCu nanostructured particles for the electrooxidation of ethanol in acid environment / [R.M. Castagna, J.M. Sieben, A.E Alvarez et al.] // *Materials Today Energy*. – 2020. – V. 15. – P. 100366.
 17. Applications of cathodic $\text{Co}_{100-x}\text{Ni}_x$ ($x = 0, 30, 70, \text{ and } 100$) electrocatalysts chemically coated with Pt for PEM fuel cells / [E. Flores-Rojas, J.L. Reyes-Rodríguez, H. Cruz-Martínez et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2019. – V. 45(1). – P. 1–12.
 18. Bathla A. Bimetallic Cu(core)@Zn(shell) co-catalyst impregnated TiO_2 nanosheets (001 faceted) for the selective hydrogenation of quinoline under visible light irradiation / A. Bathla, B. Pal // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2019. – V. 79. – P. 314–325.
 19. Cu@Pt catalysts prepared by galvanic replacement of polyhedral copper nanoparticles for polymer electrolyte membrane fuel cells / [M. Wu, X. Wu, L. Zhang et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2019. – V. 306. – P. 167–174.
 20. Hierarchical and ultrathin copper nanosheets synthesized via galvanic replacement for selective electrocatalytic carbon dioxide conversion to carbon monoxide / [J. Pan, Y. Sun, P. Deng et al.] // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2019. – V. 255. – P. 117736.
 21. The use of galvanic displacement in synthesizing $\text{Pt}^0(\text{Bi})/\text{CNW}$ catalystshighly active in electrooxidation of formic acid / [B.I. Podlovchenko, Y.M. Maksimov, S.A. Evlashin et al.] // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2015. – V. 743. – P. 93–98.
 22. Galvanic Replacement Reaction on Metal Films: A One-Step Approach to Create Nanoporous Surfaces for Catalysis / [V. Bansal, H. Jani, J. Du et al.] // *Advanced Materials*. – 2008. – V. 20. – P. 717–723.
 23. Гальванічне осадження золота та паладію на магнії методом заміщення / [О.Я. Добровецька, О.І. Кунтий, Г.І. Зозуля та ін.] //

- Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2015. – В. – 51. – № 3. С. 112–116.
24. Rezaei B. Decoration of nanoporous stainless steel with nanostructured gold via galvanic replacement reaction and its application for electrochemical determination of dopamine Sensor Actuat. / B. Rezaei, E. Havakeshian, A.A. Ensafi // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2015. – V. 213. – P. 484–492.
 25. Facile preparation of Sn hollow nanospheres anodes for lithium-ion batteries by galvanic replacement / [H. Hou, X. Tang, M. Guo et al.] // Materials Letters. 2014. – V. 128. – P. 408–411.
 26. Шепіда М.В. Осадження наноструктурованого осаду срібла на поверхні кремнію методом гальванічного заміщення / М.В. Шепіда, Зозуля Г.І., Кунтий О.І. // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2018. – № 886. – С. 79-84.
 27. Dimitrov N. Recent Advances in the Growth of Metals, Alloys, and Multilayers by Surface Limited Redox Replacement (SLRR) Based Approaches / N. Dimitrov // Electrochimica Acta. – 2016. – V. 209. – P.599–622.
 28. Cu and Cu(Mn) films deposited layer-by-layer via surface-limited redox replacement and underpotential deposition / [J.S. Fang, S.L. Sun, Y.L. Cheng et al.] // Applied Surface Science. – 2016. – V. 364. – P. 358–364.
 29. Viyannalage L.T. Epitaxial Growth of Cu on Au(111) and Ag(111) by Surface Limited Redox Replacements—An Electrochemical and STM Study / L.T. Viyannalage, R. Vasilic, N. Dimitrov // The Journal of Physical Chemistry C. – 2007. – V. 111(10). – P. 4036–4041.
 30. Galvanic displacement reaction of nickel to form one-dimensional trigonal tellurium structures in acidic solutions / [D.T. To, J. Parker, S. Yu et al.] // Electrochimica Acta. – 2020. – V. 330. – P. 135144.
 31. Bhattacharjee G. Core-shell gold @silver hollow nanocubes for higher SERS enhancement and non-enzymatic biosensor / [G. Bhattacharjee, S.

- Majumder, D. Senapati et al.] // *Materials Chemistry and Physics*. 2020. – V. 239. – P. 122113.
32. Kuntiyi O.I. Nanoscale galvanic replacement in non-aqueous media: a minireview / O.I. Kuntiyi, G.I. Zozulya, M.V. Shepida // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. – 2020. – Vol. 4. – P. 5-15.
33. Venkatakrishnan, V.B. Shenoy, E. Detsi, Degradation of magnesium-ion battery anodes by galvanic replacement reaction in all-phenyl complex electrolyte / [Z. Wang, A. Bandyopadhyay, H. Kumar, M. Li, A.] // *Journal of Energy Storage*. – 2019. – Vol. 23. – P. 195–201.
34. Copper electrodeposition onto zinc for the synthesis of kesterite $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ from a Mo/Zn/Cu/Sn precursor stack / [G. Panzeri, R. Dell'Oro, V. Trifiletti, J. Parravicini et al.] // *Electrochemistry Communications*. – 2019. – Vol. 109. – P. 106580.
35. Srinivasan K.N. Immersion copper coating of steel / [K.N. Srinivasan, N.V. Shanmugam, M. Selvam] // *Journal of The Electrochemical Society*. – 1988. – Vol. 4(04). – P. 315–317.
36. Maity S. Controlled galvanic replacement of Ni in $\text{Ni}(\text{OH})_2$ by Pd: A method to quantify metallic Ni and to synthesize bimetallic catalysts for methanol oxidation / S. Maity, S. Harish, M. Eswaramoorthy // *Materials Chemistry and Physics*. – 2019. – Vol. 221. – P. 377–38.
37. Power G.P. A Contribution to the Theory of Cementation (Metal Displacement) Reactions. / G.P. Power, I.M Ritchie // *Australian Journal of Chemistry*. – 1976. – Vol. 29. – P. 699–709.
38. Донченко М.И., Антропов Л.И. О контактном выделении металлов // *Журнал прикладной химии*. – 1972. – т.45, вып.2. – С.291–296
39. Антропов Л.И. Исследование кинетики контактного выделения меди на железе из кислых сульфатных растворов / Л.И. Антропов, М.И. Донченко // *Журнал прикладной химии*. – 1972. – Т.45, Вып.2. – С. 275–280.
40. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. –Л.: Машиностроение, 1981. – 269 с.

41. Байрачный Б.И. Электроосаждение покрытий и порошков сплавов олова из борфтористоводородных электролитов / Б.И. Байрачный, Л.В. Трубникова, А.А. Майзелис // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003, №3. – С.31–37.
42. Кутепов А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
43. Гальванотехника: справочн. изд. / Ажогин Ф.Ф., Беленький М.А. и др. М.: Металлургия, 1987. – 736.
44. Finazzin G.A. Development of a sorbitol alkaline Cu-Sn plating bath and chemical, physical and morphological characterization of Cu-Sn films / G.A. Finazzi, E.M. de Oliveira, I.A. Carlos // Surface & Coatings technology. – 2004. – №187. – P.377–387.
45. Уменьшение скорости контактного обмена в медьсодержащих электролитах / [Л.В. Трубникова, Б.И. Байрачный, Д.А. Тканов, А.А. Майзелис] // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – №13. – С. 11–14.
46. Трубникова Л.В. Расчет параметров кинетики контактного обмена при сложной форме поляризационных кривых / Л.В. Трубникова, З.А. Майзелис, Д.А. Тканов // Вестник НТУ «ХПІ». – 2004. – № 29. – С. 154-157.
47. Maizelis A. Contact exchange in tetrafluoroborate-EDTA electrolyte for Cu-Sn alloy deposition / A. Maizelis // Materials Today: Proceedings. – 2019. – V. 6. – P. 134–139.
48. Патент на винахід № 74474 України, МПК С 25 D 3/56 (2006.01) Електроліт бронзування / Б.І. Байрачний, А.О. Майзеліс Л.В. Трубнікова, Д.А. Тканов; заявник та власник патенту НТУ "ХПІ". – № 2004031968; заяв. 17.03.2004; опубл. 15.12.2005, Бюл. №12.
49. Дамаскин Б.Б. Электрохимия: Учебник для вузов / Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. – М.: Химия, 2001. – 624 с.

50. Гальванотехника: Справ. изд. / [Ф.Ф. Ажогин, М.А. Беленький, И.Е. Галь и др.]; под. ред. А. М. Гимберга // М.: Металлургия, 1987. – 736 с.
51. Пурин Б.А., Цера В.А., Озола Э.А., Витиня И.А. Комплексные электролиты в гальванотехнике. – Рига: Лиесма, 1978. – 265 с.
52. Vazquez-Arenas J. Electrochemical study of binary and ternary copper complexes in ammonia-chloride medium / J. Vazquez-Arenas, I. Lazaro, R. Cruz // *Electrochimica Acta*. – 2007. – N. 52. – P. 6106–6117.
53. Artemenko V.M. Influence of organic ligandes on the kinetics of copper electrodeposition from mono- and polyligand electrolytes / V.M. Artemenko, A.A. Maizelis // *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*. – 2017. – Issue 1(51). – P. 110–116.
54. Maizelis A.A. Contact Displacement of Copper at Copper Plating of Carbon Steel Parts / A.A. Maizelis, B.I. Bairachnyi, G.G. Tul'skii // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2018. – Vol. 54. – No. 1. – P. 12–19.
55. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч. 3. Гальванічні виробництва: Підручник. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 272 с.
56. Импульсный электролиз как способ подавления контактного обмена при нанесении катодных металлических покрытий / [Донченко М.И., Мотронюк Т.И., Срибная О.Г. и др.] // *Вопросы химии и химической технологии*. – 1999. – № 1. – С. 110–112.
57. Пат. 79556 Україна, МПК⁶ С 25 D 3/56, С 25 D 5/10. Спосіб одержання захисно-декоративних багат шарових покриттів / Л.В. Трубнікова, Б.І. Байрачний, В.О. Савченко, А.О. Майзеліс; заявник та власник патенту НТУ "ХП". – № a200509969; заяв. 24.10.2005; опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9.
58. Maizelis A.A. Electrochemical Formation of Multilayer Metal and Metal Oxide Coatings in Complex Electrolytes / A. Maizelis, B. Bairachniy // *Springer Proceedings in Physics* / O. Fesenko, L. Yatsenko. – Switzerland, 2017. – Chapter 41. – P. 557–572.

59. Maizelis A. Multilayer nickel-copper metal hydroxide coating as cathode material for hydrogen evolution reaction / Maizelis A., Bairachniy B. // in: *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings* / A.D. Pogrebnyak, V. Novosad. – Singapore, 2019. – P. 97–107.
60. Maizelis A.A. Multilayer nickel-copper anode for direct glucose fuel cell / A.A. Maizelis // *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*. – 2019. – V. 16. – P. 041003 (7p.)
61. Maizelis A.A. Electrooxidation of ethanol on nickel-copper multilayer metal hydroxide electrode / A.A. Maizelis // *Springer Proceedings in Physics* / O. Fesenko, L. Yatsenko. – Switzerland, 2019. – Chapter 4. – P. 59-68.
62. Maizelis A. Nickel-copper hydroxide multilayer coating as anode material for methanol electro-oxidation // *Springer Proceedings in Physics* / O. Fesenko, L. Yatsenko. – Switzerland, 2020. – Chapter 3. – P. 35-45.
63. *Electrochemical Formation of multilayer coatings: copper-nickel alloys and oxo-hydroxides : monograph* / A. Maizelis. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2021. – 173 p.
64. The effect of architecture of the Cu/(Ni-Cu) multilayer coatings on their microhardness / [A.A. Maizelis, B.I. Bairachniy, L.V. Trubnikova, B.A. Savitsky] / *Functional Materials*. – Kharkiv. – ISMA STC “Institute of Single Crystals”. – 2012. – Vol. 19. – № 2. – P. 238–244.
65. Майзеліс А.А. Антикорузіонні і механічні властивості мультишарових Cu/(Ni-Cu) покриттів / А.А. Майзеліс, Б.І. Байрачний, Л.В. Трубнікова // *Сборник статей «Свиридовские чтения»*. – Минск : БГУ. – 2012. – Вып. 8. – С. 108–116.
66. Пат. на винахід № 113524 Україна, МПК С25 D 3/56, 5/10, С01G 53/04, 3/02, Н01М 4/86 (2013.01) Спосіб електроосадження каталітично активного мультишарового нікель-мідного покриття / А.О. Майзеліс, Б.І. Байрачний, Л.В. Трубнікова; заявник та патентовласник НТУ "ХПІ". – № а201402364; заяв. 07.03.2014; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3.

67. Влияние медного подслоя на прочность сцепления гальванического покрытия с углеродистой сталью / [А.А. Майзелис, Б.И. Байрачный, В.Ю. Зайцева, Л.В. Трубникова, З.А. Майзелис] // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. – №1(47). – 183–189.
68. Орехова В.В. Полилигандные электролиты в гальваностегии / В.В. Орехова, Ф.К. Андрющенко. – Харьков: Вища школа, 1979. – 144 с.
69. Майзелис А.А., Байрачный Б.И., Трубникова Л.В. Электрохимическое формирование медно-никелевых наноламинатов в аммонийно-пирофосфатном растворе // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 4(2). – С. 42–44.
70. Бондарь В.В., Гринина В.В., Павлов В.Н. Электроосаждение двойных сплавов // Итоги науки и техники. – 1979. – Т. 16. – 329 с.
71. Mayzelis A.A. Dynamics of redox processes in the electrolyte for electrodeposition of Cu-Sn alloy / A.A. Mayzelis, G.V. Ovcharenko in: Promosing materials and processes in Applied Electrochemistry: monograph. Kyev.:KNUTD, 2017. – Chapter 2.4. – P. 98–103.
72. Large Block, High Density, Low Weight Loss Rate and Excellent Plating Process for High Grade NdFeB Magnet / [Xi-Feng Lin, Kai-Hong Ding, Gang Chen et al.] // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2006. – V. 13. – P. 296–302.
73. Surface modification of spherical NdFeB magnetic powders by a fluid-bed nickel electrodeposition / Jingwu Zheng, Meiyang Jiang, Liang Qiao [et al.] // Materials Letters. – 2008. – V. 62. – P. 4407–4409.
74. Multi-layered electroless Ni-P coatings on powder-sintered Nd-Fe-B permanent magnet / [Zhong Chen, Alice Ng, Jianzhang Yi, Xingfu Chen] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2006. – V. 302. – P. 216–222.
75. Primary investigation of corrosion resistance of Ni-P/TiO₂ composite film on sintered NdFeB permanent magnet / [Laizhou Song, Yanan Wang, Wanzhou Lin, Qian Liu] // Surface & Coatings Technology. – 2008. – V. 202. – 5146–5150.

76. EP 20050809460, H02K 15/03; C23C 28/00; C23C 28/02; C25D 5/12; C25D 5/48; C25D 7/00; H01F 1/053. Process for producing permanent magnet for use in automotive IPM motor / Kolatsu, T., Shintani, Y., Takahashi, K., Kabasawa, A., Okada, R., Miyao, Y., Kaneko, Y. - Publ. 08.08.2007.
77. Патент на винахід № 92430 України, МПК C25D 3/56 (2006.01), C25D 5/10 (2006.01), C25D 7/00, C25D 3/02 (2006.01). Спосіб електроосадження нікель-мідного покриття на магніт NdFeB / А.О. Майзеліс, Б.І. Байрачний, Л.В. Трубнікова, О.Ю. Девізенко; заявник та власник патенту НТУ "ХПІ". – № а 2009 12231 ; заяв. 27.11.2009 ; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20.
78. Maizelis A.O. Corrosion of neodymium magnets in polyligand solutions / A. Maizelis, B. Bairachniy // Materials Science. – 2019. – Vol. 54. – Issue 4. – P. 519–525.
79. The Effect of Ligands on Contact Exchange in the NdFeB–Cu²⁺–P₂O₇⁴⁻–NH₄⁺ System / [A.A. Maizelis, G.G. Tul'skii, V.B. Bairachnyi, L.V. Trubnikova] // Russian Journal of Electrochemistry. – 2017. – V. 53 (4) . – P. 417–423.
80. Пат. на винахід № 114051 Україна, МПК (2016.01) С 25 D 3/12, 3/56, 3/58, 5/10, 5/16, 5/18, 5/34, 7/00, 7/10. Спосіб електроосадження нікель-мідного покриття на магніт NdFeB / А.О. Майзеліс, Б.І. Байрачний; заявник та патентовласник НТУ "ХПІ". – № а201602481; заяв. 14.03.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. №7.
81. Буферные свойства растворов, содержащих Ni(NH₃)n²⁺, в присутствии дополнительного лиганда / [Д.В. Северин, О.В. Назаренко, А.А. Майзеліс, В.М. Артеменко, Л.В. Трубнікова] // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х.: ПП «Технологічний центр». – 2013. – № 2/6 (62). – С. 19–21.
82. Vargel C. Corrosion of aluminum. Amsterdam : Elsevier, 2004. 700 p.
83. Kendig M.W. Corrosion inhibition of aluminum and aluminum alloys by soluble chromates, chromate coatings, and chromate-free coatings / M.W. Kendig, R.G. Buchheit // Corrosion. – 2003. – Vol. 59. No. 5. –

- P. 379–400.
84. Bibber J.W. An overview of nonhexavalent chromium conversion coatings – Part I: aluminum and its alloys / J.W. Bibber // *Metal Finishing*. – 2001. – Vol. 99. – No. 12. P. 15–22.
 85. Critchlow G. W., Brewis D. M. Review of surface pretreatments for aluminium alloys / G.W. Critchlow, D.M. Brewis // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. – 1996. – Vol. 16. No. 4. – P. 255–275.
 86. Uhlmann E. Mechanical pretreatment before electroplating of aluminium alloy AlSi1₂. / E. Uhlmann, R.Jaczkowski // *Surface and Coatings Technology*. – 2018. – Vol. 352. – P. 483–488.
 87. Influence of surface pretreatments on the quality of trivalent chromium process coatings on aluminum alloy / [R. Viroulaud, J. Światowska, A. Seyeux et al.] // *Applied Surface Science*. – 2017. – Vol. 423. – P. 927–938.
 88. Вишенков С.А., Каспарова Е.В. Повышение надежности и долговечности деталей машин химическим никелированием. Москва : Машгиз, 1963. 206 с.
 89. Golby J.W. A study of the effect of pretreatment procedures on the plating of aluminium alloys / J.W. Golby, J.K. Dennis // *Surface Technology*. – 1981. Vol. 12. No. 2. – P. 141–155.
 90. Fabrication of Ni, Cr, W reinforced new high alloyed stainless steels for radiation shielding applications. / [B. Aygün, E. Şakar, T. Korkut et al.] // *Results in Physics*. – 2019. – Vol. 12. – P. 1–6.
 91. Shibli S. M. A. A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process / [S.M.A. Shibli, B.N. Meena, R. Remya] // *Surface and Coatings Technology*. – 2015. – Vol. 262. – P. 210–215.
 92. Lyon S.B. Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know / S.B. Lyon, R. Bingham, D.J. Mills // *Progress in Organic Coatings*. – 2017. – Vol. 102. – P. 2–7.
 93. Kobzar Y.L. Ionic liquids as green and sustainable steel corrosion inhibitors: Recent developments / Y.L. Kobzar, K. Fatyeyeva // *Chemical Engineering Journal*. – 2021. – P. 131480.

94. Experimental and theoretical studies of isonitrosoacetanilides derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1 mol L⁻¹ HCl / [F.A. de Sousa Rodrigues, Y.M.H. Gonçalves, B.A.C. Horta, I. da Silva Santos, B.V. Silva, E. D'Elia] // *Journal of Molecular Structure*. – 2021. – P. 131256.
95. About coatings and cathodic protection: electrochemical features of coatings used on pipelines / [I.C. Margarit, O.R. Mattos, J.R.R. Ferreira, J.P. Quintela] // *Journal of Coatings technology*. – 2001. – Vol. 73. – No. 914. – P. 61–65.
96. Conrad H. Electrochemical deposition of γ -phase zinc-nickel alloys from alkaline solution / H. Conrad, J. Corbett, T.D. Golden // *ECS Transactions*. – 2011. – Vol. 33. – No. 30. – P. 85.
97. Byk T.V. Effect of electrodeposition conditions on the composition, microstructure, and corrosion resistance of Zn–Ni alloy coatings / T.V. Byk, T.V. Gaevskaya, L.S. Tsybul'skaya // *Surface and coatings technology*. – 2008. – Vol. 202. – No. 24. – P. 5817–5823.
98. Abou-Krishna M. M. Electrodeposition of Zn–Ni alloys from sulfate bath / M.M. Abou-Krishna, F.H. Assaf, A.A. Toghan // *Journal of Solid State Electrochemistry*. – 2007. – Vol. 11. – No. 2. – P. 244–252.
99. Abou-Krishna M.M. Electrodeposition and characterization of zinc-nickel-iron alloy from sulfate bath: influence of plating bath temperature / M.M. Abou-Krishna, F.H. Assaf, S.A. El-Naby // *Journal of Solid State Electrochemistry*. – 2009. – Vol. 13. – No. 6. – P. 879–885.
100. Nayana K.O. Effect of ethyl vanillin on ZnNi alloy electrodeposition and its properties / K.O. Nayana, T.V. Venkatesha // *Bulletin of Materials Science*. – 2014. – Vol. 37. – No. 5. – P. 1137–1146.
101. Hosseini M.G. Electrochemical studies of Zn–Ni alloy coatings from non-cyanide alkaline bath containing tartrate as complexing agent / M.G. Hosseini, H. Ashassi-Sorkhabi, H.A.Y. Ghasvand // *Surface and Coatings Technology*. – 2008. – Vol. 202. No. 13. – P. 2897–2904.
102. Corrosion mechanism of nanocrystalline Zn-Ni alloys obtained from a new DMH-based bath as a replacement for Zn and Cd coatings / Z. Feng,

- M. An, L. Ren, J. Zhang, P. Yang, Z. Chen // RSC advances. – 2016. – Vol. 6. – No. 69. – P. 64726–64740.
103. Conde A. Electrodeposition of Zn–Ni coatings as Cd replacement for corrosion protection of high strength steel / A. Conde, M.A. Arenas, J.J. De Damborenea // Corrosion Science. – 2011. – Vol. 53. – No. 4. – P. 1489–1497.
104. Fashu, S., Gu, C. D., Wang, X. L., and Tu, J. P., Influence of electrodeposition conditions on the microstructure and corrosion resistance of Zn–Ni alloy coatings from a deep eutectic solvent / S. Fashu, C.D. Gu, X.L. Wang, J.P. Tu // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Vol. 242. – P. 34–41.
105. Hammami O. Influence of Zn–Ni alloy electrodeposition techniques on the coating corrosion behaviour in chloride solution / O. Hammami, L. Dhouibi, E. Triki // Surface and Coatings Technology. – 2009. – Vol. 203. – No. 19. – P. 2863–2870.
106. Corrosion behaviour of electrodeposited zinc-nickel alloys / [M. Pushpavanam, S.R. Natarajan, K. Balakrishnan, L.R. Sharma] // Journal of applied electrochemistry. – 1991. – Vol. 21. – No. 7. – P. 642–645.
107. Cavallotti P.L. Phase structure of electrodeposited alloys / P.L. Cavallotti, L. Nobili, A. Vicenzo // Electrochimica Acta. – 2005. – Vol. 50. – No. 23. – P. 4557–4565.
108. Zinc-nickel alloy electrodeposition: Characterization, properties, multilayers and composites / [N. Lotfi, M. Aliofkhazraei, H. Rahmani, G.B. Darband] // Protection of Metals and Physical chemistry of Surfaces. – 2018. – Vol. 54. – No. 6. – P. 1102–1140.
109. Kołodyńska D. Comparison of chelating ion exchange resins in sorption of copper (II) and zinc (II) complexes with ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and nitrilotriacetic acid (NTA) / D. Kołodyńska, Z. Hubicki // Canadian Journal of Chemistry. – 2008. – Vol. 86. – No. 10. – P. 958–969.

110. Трубникова Л.В. Использование первой степени очистки промывных вод гальванической линии никелирования для нанесения подслоя на обрабатываемые детали / Л.В. Трубникова, Б.И. Байрачный, А.А. Майзелис // Вода и экология. Проблемы и решения. – С.-Пб.: ЗАО “Водопроект Гипрокоммуводоканал. Санкт-Петербург”. - 2010. – № 1,2. – С. 3 – 11.
111. Електроосадження покриттів металами, сплавами і оксидами в багатофункціональних гальванічних ваннах : монографія / А.О. Майзеліс, Б.І. Байрачний. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2018. – 229 с.
112. Корозійна стійкість покриттів сплавом цинк-нікель, осаджених з амонійно-гліцинатного електроліту / [Л.В. Трубнікова, В.М. Артеменко, А.В. Кулик, А.О. Майзеліс] // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП». – 2012. – № 32. – С.14 – 18.
113. Пат. на кор. мод. № 123738 Україна, МПК С25 D 3/22, С25 D 3/56, С02 F1/46 (2016.01) Спосіб електролітичного вилучення іонів цинку / А.О. Майзеліс, В.М. Артеменко; заявник та патентовласник НТУ "ХП". – № u201708334; заяв. 11.08.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл. №5.
114. Майзеліс А.О. Умови формування цинк-нікелевого сплаву з аміакатно-гліцинатного електроліту низької концентрації / А.О. Майзеліс, В.М. Артеменко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Хімія, хімічні технології та екологія. – Х. : НТУ «ХП», 2018. – № 39(1315). – С. 19–22.
115. Майзеліс А.О. Зниження виносу іонів цинку і нікелю промивними водами гальванічних ліній з утилізацією у вигляді додаткових шарів покриттів / А.О. Майзеліс // Екологічні науки. – 2019. – № 4(27). – С. 15–20.
116. Effect of additives on the corrosion mechanism of nanocrystalline zinc–nickel alloys in an alkaline bath / [Z. Feng, L. Ren, J. Zhang et al.] // RSC advances. – 2016. – Vol. 6. – No. 91. – P. 88469–88485.

117. Electrodeposition of nickel-zinc alloy coatings with high nickel content / [G. Roventi, R. Cecchini, A. Fabrizi, T. Bellezze] // *Surface and Coatings Technology*. – 2015. – Vol. 276. – P. 1–7.
118. Deposition potential effect on surface properties of Zn-Ni coatings / [H. Faid, L. Mentar, M.R. Khelladi, A. Azizi] // *Surface Engineering*. – 2017. – P. 33. – No. 7. – P. 529–535.
119. Maizelis A.A. Voltammetric analysis of phase composition of Zn-Ni alloy thin films electrodeposited under different electrolyze modes, in 2017 IEEE 7th International Conference Nanomaterials: Application and Properties (NAP), IEEE. 2017, pp. 02NTF13-1-02NTF13-5.
120. Maizelis A. Voltammetric analysis of phase composition of Zn-Ni alloy thin films electrodeposited from weak alkaline polyligand electrolyte / [A. Maizelis, B. Bairachny] // *Journal of nano- and electronic physics*. – 2017. – Vol. 9. –No. 5. – P. 05010.
121. Maizelis A. Quantitative analysis of chemical and phase composition of Zn-Ni alloy coating by potentiodynamic stripping / A. Maizelis, Z. Kolupaieva // *Electroanalysis*. – 2021. – V. 33(2). – P. 515–525.
122. Пат. на кор. мод. № 127761 Україна, МПК МПК8 С 25 D 3/56, 5/10, 5/18 . Спосіб електроосадження мультишарового цинк-нікелевого покриття / А.О. Майзеліс; заявник та патентовласник НТУ "ХПІ". – № u201801252; заяв. 09.02.2018; опубл. 27.08.2018, Бюл. №16.
123. Майзеліс А.О. Вплив умов формування мультишарових покриттів $(\text{Zn-Ni})_1/(\text{Zn-Ni})_2$ на їх механічну та корозійну стійкість / А.О. Майзеліс // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. – 2019. – Том 30 (69). – № 4, Ч. 2 – С. 61–66.
124. Пат. на кор. мод. № 140475 Україна, МПК С25D 3/56, С25D 5/10, С25D 5/18. Спосіб електроосадження мультишарового цинк-нікелевого покриття / А.О. Майзеліс; заявник та патентовласник НТУ "ХПІ". – № u201909154; заяв. 06.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл. №4
125. Гаврилова А.А. Співосадження цинку з нікелем у пірофосфатно-цитратному електроліті / А.А. Гаврилова, С.В. Сурвицький,

- А.О. Майзеліс // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021. – Том 32 (71). – № 4 – С. 194–199.
126. Майзеліс А.О. Вдосконалений метод розрахунку параметрів кінетики контактного обміну / А.О. Майзеліс in: Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: monograph. Kyiv.:KNUTD, 2019. – Chapter 2.4. – P. 87-95.
127. Пат. на кор. мод. № 143138 Україна, МПК C25D 3/58, C25D 5/10, C25D 5/18. Спосіб електроосадження мідно-цинкового покриття / А.О. Майзеліс; заявник та патентовласник НТУ "ХП". – № u202000988; заяв. 17.02.2020; опубл. 10.07.2020, Бюл. №13.
128. Майзеліс А.О. Електрохімічне формування мультишарових покриттів $[(\text{Cu-Zn})_{\text{баз}}/(\text{Cu-Zn})_{\text{дод}}]_n$ двоімпульсним потенціостатичним методом / А.О. Майзеліс // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021. – Том 32 (71). – № 2. – С. 112–117.
129. Майзеліс А.О. Електроосадження мультишарових покриттів $(\text{Cu-Sn})_1/(\text{Cu-Sn})_2$ з пірофосфатно-трилонатного електроліту / А.О. Майзеліс // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2019. – Том 30 (69). – № 5, Ч. 2. – С. 69–75.
130. Пат. на кор. мод. № 140474 Україна, МПК C25D 3/56, C25D 5/10, C25D 5/18. Спосіб електроосадження мультишарового покриття сплавами мідь-олово / А.О. Майзеліс; заявник та патентовласник НТУ "ХП". – № u 2019 09149; заяв. 06.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл. №4.
131. Майзеліс А.О. Використання функції потенціостата MTech PGP-550S нелінійної поляризації за заданими даними / А.О. Майзеліс, І.О. Пацай : Електрохімія сьогодення: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія. – Київ: МПБП «Гордон», 2021. – с. 88–89.
132. Ivshin Y.V. Electrodeposition of Copper on Mild Steel: Peculiarities of the Process / Y.V. Ivshin, F.N. Shaikhutdinova, V.A. Sysoev // Surface

Engineering and Applied Electrochemistry. – 2018. – Vol. 54. – P. 452–458.

133. Maizelis A. Stripping voltammetry of nanoscale films of Cu-Zn, Cu-Sn, Zn-Ni alloys / A. Maizelis // Springer Proceedings in Physics / O. Fesenko, L. Yatsenko. – Switzerland, 2021. – Chapter 22. – P. 323-336. DOI: 10.1007/978-3-030-74741-1_22
-

Наукове видання

МАЙЗЕЛІС Антоніна Олександрівна

КІНЕТИКА КОНТАКТНОГО ОБМІНУ МЕТАЛІВ

Монографія

Українською мовою

Роботу до видання рекомендував проф. Пітак Я. М.

В авторській редакції

Підписано до друку 01.11.2021 р.
Формат 60x84 1/16.. Папір офсетний. Друк цифровий.
Умовн. друк. арк. 10,5.
Тираж 300 прим. Зам. №01-11.

Видавництво та друк
ФОП Іванченко І.С.
пр. Тракторобудівників, 89-а/62, м. Харків, Україна, 61135.
тел.: +38 (050/093) 40-243-50.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників та розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 4388 від 15.08.2012 р.
monograf.com.ua