

УДК 544.6

Мирослава КОВБУЗ, Оксана ГЕРЦИК, Лідія БОЙЧИШИН, Богдан КОТУР

ЕЛЕКТРОКАТАЛІТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ТА АЛЮМІНІЮ ЕЛЕКТРОХІМІЧНА

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна,
e-mail: o_hertsyk@yahoo.com*

Досліджено електрохімічними методами (циклічною вольтамперометрією, електрохімічною імпедансною спектроскопією) електрокаталітичний розклад олігопероксидних –O–O– груп на поверхні аморфних металевих сплавів $Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$, $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ та $Al_{87}Y_3Ni_8$ електродів. Аморфні сплави виявляють каталітичну активність близьку до платини: $Al_{87}Y_3Ni_8 < Pt < Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0} < Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$. Цю особливість аморфних сплавів можна пояснити не тільки їхнім різним ступенем структурованості, а й хімічною багатоконпонентністю, яка є важливим чинником каталітичної активності.

Ключові слова: електрокаталіз, аморфні металеві сплави, сплави феруму, сплави алюмінію.

1. Вступ

Процес електрокаталізу передбачає зміну швидкості або напрямку електрохімічної реакції залежно від матеріалу електрода або модифікації його поверхні. Особливо цікавими є аморфні металеві сплави (АМС), які можуть бути за хімічним складом різноконпонентними, досить легко піддаватися частковому структуруванню. Залежно від складу АМС у процесі їхнього структурування утворюються серед інших кристалічних фаз інтерметалічні сполуки, які впливають на каталітичні властивості сплаву в цілому.

Електрокаталітичні процеси найчастіше є багатостадійними, в яких обов'язкова стадія адсорбції на електроді молекул – учасників реакції. Це можуть бути вихідні, проміжні або кінцеві продукти. Якщо адсорбція молекул не відбувається, то в цьому випадку реакція не залежить від компонентного складу електрода [1].

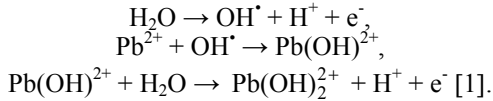
Особливістю електрокаталітичних реакцій порівняно з гетерогенно-каталітичними є залежність їх швидкості від потенціалу електрода. Кінетичне рівняння Сеттерфільда [2, 3] для електрокаталітичної реакції

$$i = k \cdot f(E, C_o, \theta_b, \theta_m) \quad (1)$$

пов'язує величину струму, що протікає через електролізер (i), з потенціалом (E) та об'ємною (C_0) і поверхневою (C_n) концентрацією або ступенем заповнення поверхні (θ_i) реагуючими речовинами, k – стала величина. Конкурентними до реагуючих речовин, які беруть участь у різних маршрутах струмовизначального процесу, є продукти реакції та молекули розчинника, що теж заповнюють поверхню каталізатора (θ_m).

Змінюючи потенціал, можна на декілька порядків змінювати швидкість основної реакції. Величина потенціалу впливає не тільки на енергію активації основної реакції хімічного перетворення, а й на поверхневі концентрації (θ_i , θ_m) реагентів, внаслідок чого може змінюватися і напрям електродного процесу [4].

У гетерогенному та електрокаталізі важливу роль відіграє адсорбція розчинника на межі фаз, яка може знижувати поверхневу концентрацію реагуючих речовин. Однак в електрокаталізі можлива участь молекул або їхніх частинок (йонів, радикалів) в основній реакції. Наприклад,



Не менш важливим є вплив на електродні процеси адсорбції йонів фонового електроліту.

Отже, незважаючи на можливість регулювання кінетики та механізму електродного процесу, треба враховувати різні чинники, специфічні для електрокаталізу [5].

Для прогнозування електрокаталітичних властивостей металів і сплавів теорія, практично, не існує. Це стосується навіть таких досить простих реакцій: каталітичне виділення водню, кисню чи окиснювально-відновлювальні процеси оксидів сульфуру, нітрогену. Усі процеси залежать від хімічної природи електрода. У випадку йонізації-розряду водню струм обміну може змінюватись у процесі електролізу на 10 порядків при переході від ртутних і свинцевих електродів до металів платинової групи (Pd, Pt).

Розглядаючи механізм електрокаталізу, найперше, враховують адсорбцію, тобто ступінь заповнення поверхні електрода вихідними та продуктами реакції згідно з наведеною формулою (1).

Найвища електрокаталітична активність простежується у тих металів, які мають високу адсорбційну здатність (Fe, Al, Cr). Ця властивість характерна і для гетерогенного каталізу. Отже, мусить бути висока спорідненість адсорбенту до адсорбтиву.

Цікаво, що активність змішаних каталізаторів перевищує однокомпонентні. Швидкість окиснення метанолу на платиново-родієвих каталізаторах на три порядки вища за швидкість цієї реакції на платині. Враховуючи цю особливість, можна стверджувати, що аморфні металеві багатокомпонентні сплави є перспективними електрокаталізаторами окиснювально-відновлювальних процесів. Поверхня свіжовиготовлених аморфних сплавів, практично, моментально покривається тонким щільним шаром оксидів, які сприяють адсорбції молекул реагентів.

Як з'ясовано у [6], під час електрохімічної реакції у водному середовищі відбувається додаткове окиснення металу з нагромадженням на поверхні оксидних шарів вищої пористості, яка зумовлена частковим розчиненням оксидів у розчині

електроліту. Товщина і пористість плівок TiO_2 , нанесених на титанову фольгу (для сенсора кисню), залежить від того, чи швидкість розчинення оксиду титану відбувається повільніше від його утворення. У цьому випадку плівка росте і контролюється дифузією іонів у порах концентрування деполяризатора у приповерхневих шарах і сприяє проведенню електрокаталітичної реакції.

Мета нашої праці – вивчити вплив елементного складу аморфних металевих сплавів $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$, $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ і $\text{Al}_{87}\text{Y}_5\text{Ni}_8$ та їхньої попередньої термічної обробки на каталітичну активність в електрохімічних реакціях. Вибір аморфних сплавів на основі заліза й алюмінію як електрокаталізаторів зумовлений утворенням у контакт з водними розчинами на їхній поверхні оксидно-гідроксидних шарів з підвищеною адсорбційною здатністю до молекул субстрату. Крім того, металеві компоненти перемінної валентності, які входять до складу досліджуваних АМС, виявляють високу активність в окиснювально-відновних процесах [7, 8].

2. Методики експерименту

Вихідні аморфні сплави виготовляли в Інституті металофізики НАН України (м. Київ) методом спінінгування (10^5 – 10^7 К/с) з розплаву на обертовому мідному барабані у вигляді стрічки шириною ≈ 2 см і товщиною близько 20 мкм. Унаслідок способу отримання аморфних металевих стрічок з розплавів розрізняють контактний (κ) бік, що безпосередньо стикається з охолоджувальним елементом, і зовнішній (ε). Рентгеноструктурний аналіз проводили за допомогою рентгенівського порошкового дифрактометра ДРОН-3М (CuK_α -випромінювання).

Оцінку взаємодії поверхні сплавів з водними розчинами проводили вольтамперометрично в потенціодинамічному режимі з циклічним скануванням потенціалу за допомогою комплексу Jaissle Potentiostat-Halvanostat IMR 88 PCR за триелектродною схемою: робочий АМС-електрод – електрод порівняння $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}_{\text{нас}}$ і допоміжний електрод – $0,5 \text{ см}^2$ Pt-пластинка. Електроліт – 5,0 М водний розчин NaOH .

Електрохімічну імпедансну спектроскопію (EIS) зразків АМС проводили з використанням приладу Autolab[®]/PGSTAT-20 з частотним аналізатором і диференціальним електрометричним підсилювачем (Eco Chemie B.V. the Netherlands).

3. Результати експерименту та їхнє обговорення

Вплив хімічного елементного складу та адсорбції субстрату на каталітичну активність аморфних металевих сплавів

Для виготовлення електродів вибрали три- та п'ятикомпонентні аморфні металеві сплави (АМС) на основі заліза та алюмінію: $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$, $\text{Al}_{87}\text{Y}_5\text{Ni}_8$ та $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$. Усі вони у вихідному стані, практично, повністю аморфні, про що свідчать гало на їхніх дифрактограмах, зображені на рис. 1.

Як відомо, висока реакційна здатність аморфних сплавів на основі Fe та Al сприяє миттєвому покриттю їхньої поверхні оксидно-гідроксидними шарами [8], і зумовлює підвищення адсорбції молекул субстрату.

Поліфункціональні олігопероксиди використовують для модифікації металевих поверхонь [9], формування ізолюючих покриттів. Такі композитні матеріали використовують у медицині для протезування, виготовлення медичного інструментарію зі здатністю іммобілізувати лікарські препарати. Отже, ймовірно, механізм за-

кріплення на поверхні АМС полімерних плівок відбувається внаслідок адсорбції макромолекул, розкладу пероксидних груп і зшивання генерованих макрорадикалів на металевій поверхні.

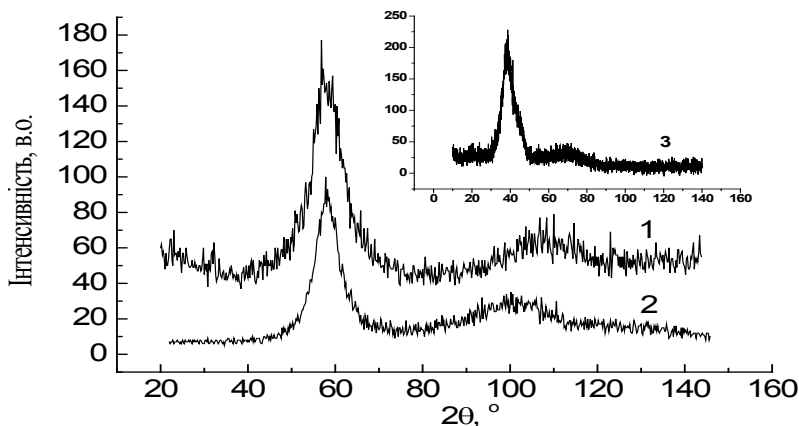


Рис. 1. Дифрактограми АМС: 1 – $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$,
2 – $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$, 3 – $\text{Al}_{87}\text{Y}_5\text{Ni}_8$.

Для плівкоутворення використано поліфункційні олігопероксида (ОП) на основі вінілацетату (ВА), 3-трет-бутилпероксі-3-фенілбутилметилметакрилату (ТБПФМ) та малеїнового ангідриду (МА) з різним молярним співвідношенням складових, тобто ВА:ТБПФМ:МА (40:20:40 та 45:15:45).

Для порівняння швидкості електрокаталітичного розкладу пероксидних груп на поверхнях АМС різного складу проведено аналогічне дослідження на платиновому електроді. Як відомо, платина є універсальним каталізатором, який використовують як стандарт для порівняння з новими матеріалами, що виявляють каталітичні властивості.

Кінетику розкладу поліфункціональних пероксидів досліджували методом циклічної вольтамперометрії в інтервалі потенціалів розкладу —O—O— груп $-(1,4-1,5)$ В. Двоступеневі вольтамперограми описують відновлення пероксидної групи в різних конформаційних станах. При низьких концентраціях ОП імовірність існування —O—O— груп на межі фаз у різних конформаціях зменшується, внаслідок чого вольтамперограми спрощуються. У зв'язку з цим використовували для дослідження розчини ОП з концентрацією 0,04 осн.моль/л, за якої немає ефектів реорганізації адсорбційних шарів.

У табл. 1 наведено результати дослідження швидкості розкладу пероксидних груп на електродних поверхнях різної природи.

Значення констант швидкості катодної (k_c) та анодної (k_a) реакцій на АМС на основі заліза $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ та $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$ (табл. 1) свідчать про їхню вищу каталітичну здатність порівняно з платиною. АМС на основі алюмінію в процесі розкладу —O—O— груп олігопероксиду дещо менш активні ($\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} = -0,963$ В; $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} = -0,441$ В; $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} = -0,771$ В; $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} = -1,700$ В). На активніших металевих поверхнях, особливо на оксидних шарах, простежуються хемо-

сорбційні явища, що супроводжують електрокаталіз. У випадку ВА:ТБПФМ:МА малеїновий ангідрид у водному середовищі легко гідролізує, генеруючи кислотні залишки з високою спорідненістю до поверхні електрода, виявляючи хемосорбційні властивості. Збільшення молярного вмісту малеїнового ангідриду в зразку олігопероксиду від 40 до 45 мол. % зумовлює прискорення катодного й анодного процесів, що, очевидно, пов'язане з концентруванням субстрату на поверхні електрода.

Таблиця 1

Константи швидкості електрокаталітичного відновлення (k_k) та окиснення (k_a) ОП ($C_{оп} = 0,04$ осн.моль/л) з різним співвідношенням компонентів на електродах різної природи ($T = 293 \pm 1$ К)

ОП ВА:ТБПФМ:МА	$k \cdot 10^2$, c^{-1}	Pt	$Al_{87}Y_5Ni_8$	$Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$	$Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$
40:20:40	k_k	6,68	6,22	7,91	7,32
	k_a	7,00	6,85	7,90	9,40
45:10:45	k_k	7,39	7,00	8,56	9,81
	k_a	8,40	7,58	7,98	10,4

*Активізація каталітичної дії аморфних металевих каталізаторів
попередньою термообробкою*

Для оптимізації електрокаталітичної активності поверхні аморфних металевих сплавів (АМС) має значення не тільки елементний склад електрода, але і його структурний рівень [7]. Дослідження активності в процесі виділення водню на $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ електроди проводили методами вольтамперометрії в потенціодинамічному режимі та електрохімічної імпедансної спектроскопії (ЕІС).

Реакція виділення водню з води багатоступенева і, відповідно, ступені відрізняються за енерговитратами (рис. 2).

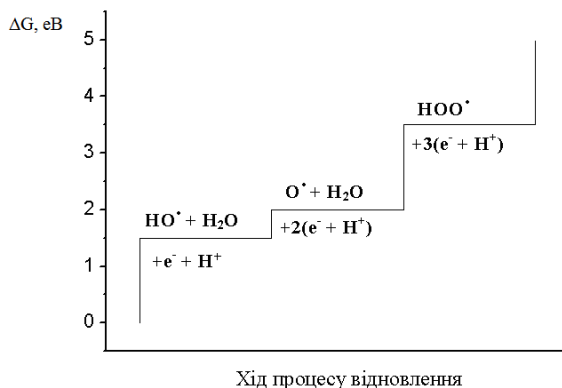


Рис. 2. Схема процесу електрохімічного виділення водню.

Наноструктурування аморфного сплаву $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ у процесі термообробки реєстрували методом диференціальної скануючої калориметрії і визначили температурний інтервал термообробки від 298 до 723 К. Радіус першої коорди-

наційної сфери (r_f) та область когерентного розсіяння (L) відпалених зразків АМС визначали методом рентгенівської дифрактометрії [10].

Максимальні значення струмів відновлення i_{max} свідчать про найвищий вихід водню на відпалених зразках в інтервалі (523–623) К при потенціалах $-(1,023-1,028)$ В. Поступове нагрівання зразка АМС в інтервалі (523–623) К підвищує його активність у процесі виділення водню в 2,6–2,8 раза, що пов'язано з величиною нанокристалів різних фаз, які утворюються внаслідок структурування аморфного сплаву. Подальше підвищення температури відпалювання приводить до зниження активності каталізатора (табл. 2, рис. 3).

Таблиця 2

Вплив термообробки на структурування та електрокаталітичну активність АМС $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ у процесі виділення водню з 5,0 М водного розчину NaOH

$T_{\text{відпалювання}},$ К	$r_f,$ нм	$L,$ нм	$-E,$ В	$i_{max} \cdot 10^4,$ А/см ²	n^*
298	0,253	1,8	1,09	3,2	–
323	0,254	1,7	1,08	4,3	1,3
423	0,257	2,4	1,01	6,2	1,9
523	0,258	2,7	1,02	8,8	2,8
623	0,256	2,6	1,03	8,3	2,6
723	0,249	2,0	1,23	4,6	1,4

$$n^* = i_T / i_{T=298}$$

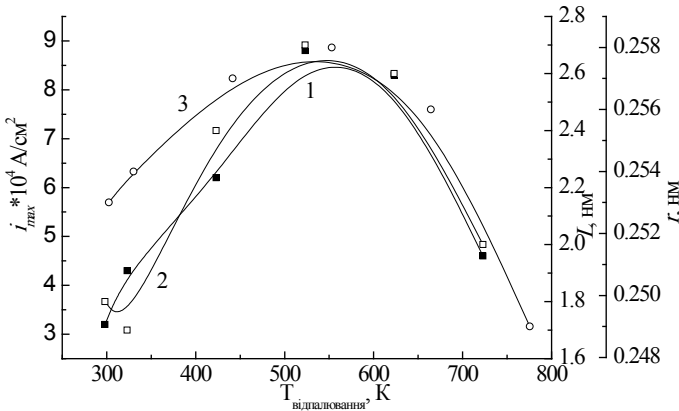


Рис. 3. Кореляція між структурними (r_f (1), L (2)) параметрами та каталітичним струмом i_{max} (3) виділення водню на поверхні АМС $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ при різних температурах відпалювання зразка.

Результати ЕІС вимірів (ємність C_{dl} , шершавість R_f) свідчать про розпушеність оксидно-гідроксидного шару в інтервалі зовнішніх потенціалів $-(1,05 \div 1,00)$ В, що зумовлює проникнення лужного розчину до каталітичної поверхні електрода (табл. 3).

Порівняння результатів структурного аналізу відпалених зразків $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ з параметрами електрохімічної оцінки методами вольтамперометрії та електрохімічної імпедансної спектроскопії, визначено оптимальний інтервал виділення водню на наноструктурних зразках при їхньому відпалюванні в температурному інтервалі (523–623) К і потенціалі $-(1,02-1,03)$ В.

Таблиця 3

Вплив зовнішнього потенціалу ($E_{\text{зовн.}}$) на характеристики поверхневих шарів АМС $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ у 5 М водному розчині NaOH

$-E_{\text{зовн.}}$, В	1,15	1,10	1,05	1,02	1,00	0,95
R_f	5,79	5,99	8,00	12,3	10,0	6,80
$C_{dl} \cdot 10^5$, Ф/см ²	11,8	11,9	16,6	24,7	20,1	13,6

Висновки

1. Досліджено електрокаталітичну здатність аморфних металевих сплавів $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$, $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$ та $\text{Al}_{87}\text{Y}_5\text{Ni}_8$ у процесі розкладу олігопероксидних $-\text{O}-\text{O}-$ груп.
2. Виявлено кореляцію між структурними параметрами та електрокаталітичними струмами виділення водню у випадку АМС електродів $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$, попередньо відпалених в інтервалі 300–750 К.
3. Аморфні металеві електроди на основі заліза $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ та $\text{Fe}_{73,1}\text{Cu}_{1,0}\text{Nb}_{3,0}\text{Si}_{15,5}\text{B}_{7,4}$ виявляють дещо вищу електрокаталітичну активність у процесі дисоціації $-\text{O}-\text{O}-$ групи поліфункційних олігопероксидів порівняно з Pt, що пов'язано з додатковим впливом хемосорбції на їхніх окиснених поверхнях.
4. У випадку АМС на основі алюмінію $\text{Al}_{87}\text{Y}_5\text{Ni}_8$ простежується нижча каталітична активність, що може бути пов'язане з надто щільним блокуванням металевої поверхні окисдно-гідроксидними шарами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Podlovchenko B.I., Kolyadko E.A. A correlation between the changes in total charge and open circuit potential of a hydrogen electrode during the adsorption of neutral particles and the formation of adatoms from ions // J. Electroanal. Chem. – 2001. – Vol. 506. – P. 11–21.
2. Стеттерфильд Ч. Практический курс гетерогенного катализа. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
3. Mars T.M., Cooper, Lege J.-M., Contancom C., Lamy C. Fuel Cell Catalysis // A. Surface. – 2008. – P. 159–207, 405–505.
4. Багоцкий В.С. Проблемы электрокатализа. – М.: Наука, 1980. – 356 с.
5. Ковбуз М.А., Герцик О.М., Бойчишин Л.М. Каталитически активные электроды в окислительно-восстановительных процессах олигомерных пероксидов // Электрохимия. - 2011. - Т.47, №10. - С. 1276–1280.
6. Воробець В.С., Колбасов Г.Я., Кучірка В.І., Блінкова Л.В. Синтез та електрокаталітичні властивості електродів на основі плівок TiO_2 для сенсора кисню // Наук. зап. НаУКМА. – 2011. – Вип. 18. – С. 54–57.
7. Савикова Е. Р. Размерные и структурные эффекты в электрокатализе: Дис. д.х.н.: Спец. 02.00.15. – Новосибирск. 2005. – 285 с.

8. Герцик О.М., Ковбуз М.О., Бойчишин Л.М., Пандяк Н.Л. Електрохімічне окиснення аморфних металевих сплавів Al-PPM-P3M // Вопр. хим. и хим. технол. - 2011. -№4 (1). - С.126–129.
9. Герцик О.М., Ковбуз М.О., Бойчишин Л.М. Конформаційні особливості поліфункціональних олігопероксидів на межі фаз різної природи // Хім. фіз. технол. Поверхні. - 2011. - Т.2, №3. - С.266–270.
10. Petkov V. RAD, a program for analysis of X-ray diffraction data from amorphous materials for personal computers // J. Appl. Cryst. - 1989. -Vol. 22. -P. 387–389.

SUMMARY

Myroslava KOVBUZ, Oksana HERTSYK, Lidia BOJCHYSHYN, Bogdan KOTUR

ELECTROCATALYTIC PROPERTIES OF THE AMORPHOUS METALLIC ALLOYS BASED ON IRON AND ALUMINIUM

*Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla & Mefodiya Str. 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: o_hertsyk@yahoo.com*

Electrocatalytic elimination of oligoperoxide –O–O– groups on the surface of $Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$, $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ and $Al_{87}Y_5Ni_8$ electrodes has been investigated by the electrochemical methods (cyclic voltamperometry, electrochemical impedance spectroscopy). Amorphous alloys showed catalytic activity parameters similar to the platinum electrode $Al_{87}Y_5Ni_8 < Pt < Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0} < Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$. This feature of the amorphous alloys can be explained by their different structural degree and by their multicomponent composition the latter is one of the important factors of the catalytic activity of solids.

Keywords: electrocatalysis, amorphous metallic alloys, iron alloys, aluminium alloys.

РЕЗЮМЕ

Мирослава КОВБУЗ, Оксана ГЕРЦИК, Лідія БОЙЧИШИН, Богдан КОТУР

ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ

*Львовский национальный университет имени Ивана Франка,
ул. Кирилла и Мефодия, 6, 79005 Львов, Украина
e-mail: o_hertsyk@yahoo.com*

Электрохимическими методами (циклической вольтамперометрии, электрохимической импедансной спектроскопии) исследовано электрокаталитическое разложение олигопероксидных –O–O– групп на поверхности электродов из аморфных металлических сплавов $Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$, $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ и $Al_{87}Y_5Ni_8$. Аморфные сплавы проявляют каталитическую активность близкую к платине: $Al_{87}Y_5Ni_8 < Pt < Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0} < Fe_{73,1}Cu_{1,0}Nb_{3,0}Si_{15,5}B_{7,4}$. Эту особенность аморфных сплавов можно объяснить не только их разной степенью структурирования, но и химической многокомпонентностью, которая является одним из важнейших факторов каталитической активности.

Ключевые слова: электрокатализ, аморфные металлические сплавы, сплавы железа, сплавы алюминия.

Стаття надійшла 08.09.2012.
Після доопрацювання 09.10.2012.
Прийнята до друку 20.02.2013.