

УДК 54-161+ 544.653.22

ОСОБЛИВОСТІ МОДИФІКАЦІЇ АМОРФНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ ОЛІГОМЕРНИМИ ПОКРИТТЯМИ

О. Герцик^{1*}, М. Лопачак¹, Т. Гула¹, С. Буваник¹, Н. Пандяк²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна
e-mail: o_hertsyk@yahoo.com;

²Національний лісотехнічний університет України,
вул. Генерала Чупринки, 103, 79057 Львів, Україна

Методом потенціометрії досліджено розчинення у 0,5 М водному розчині NaCl вихідних аморфних металевих сплавів Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}, Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0} та з нанесеними олігопероксидними покриттями. Попереднє хімічне очищення за допомогою HF поверхні вихідних аморфних зразків активує їх корозію, а наступне окиснення у розчині KMnO₄ сприяє відновленню оксидних захисних шарів. За електрохімічними параметрами оцінена стійкість плівок олігопероксидів на основі вінілацетату, 2-трет-бутилпероксі-2-метил-5-гексен-3-їну та малеїнового ангідриду (ОП-1) та на основі вінілацетату, 3-трет-бутилпероксі-3-фенілбутилметакрилату та малеїнового ангідриду (ОП-2) на вищеперелічених аморфних сплавах. Показано, що стійкіші плівки формуються на зовнішньому боці стрічки аморфних сплавів, який містить більшу частку кристалічної фази.

Ключові слова: аморфні металеві сплави, олігомерні покриття, потенціометрія, корозійна тривкість.

DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.6201.322>

1. Вступ

Феромагнітні аморфні металеві сплави (АМС) на основі заліза та кобальту можна використовувати у вигляді дрібнодисперсних порошоків у медицині як керовані носії лікарських препаратів [1, 2]. Використання таких матеріалів потребує їхньої ізоляції від агресивного середовища, зокрема олігомерними покриттями. У цьому випадку вони виконують роль ізолятора, не знижуючи магнітних властивостей сплавів. Гомогенне диспергування дрібнокристалічної фази у цих сплавах помітно покращує їхні характеристики. Однак для синтезу тонких плівок варто брати до уваги особливості поверхні АМС і спорідненість до неї плівкоутворювальних олігомерних сполук. Умови контакту олігомерних молекул з поверхнею, можливість орієнтації макромолекул на поверхні, розчинник та природа аморфної поверхні визначають структуру та властивості адсорбційного шару. Потрібно також урахувати, що адсорбційна взаємодія на межі фаз зменшує молекулярну рухливість ланцюгів під час формування полімерного матеріалу.

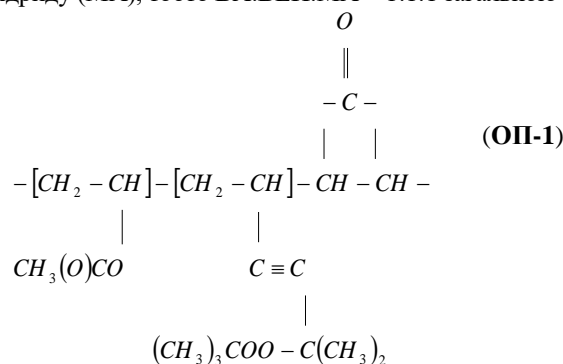
У процесах отримання поверхневих покриттів олігомерної природи важливу роль відіграють процеси змочування підкладки олігомерними і полімерними молекулами [3, 4]. Хороше змочування є важливою умовою адгезійного сполучення і високих фізико-механічних властивостей матеріалів.

У зв'язку з цим ми дослідили процес плівкоутворення олігопероксидів різного складу на поверхнях аморфних металевих сплавів на основі заліза та кобальту.

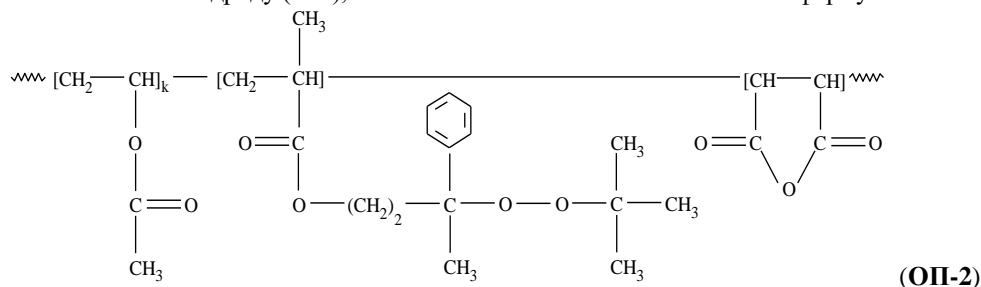
2. Матеріали та методика експерименту

Як металеві електроди використовували аморфні металеві сплави (АМС) у вигляді стрічки товщиною 40 мкм, шириною 20 мкм наступного складу (ат. %) $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$ та $Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, одержані методом швидкого гартування (10^6 К/с) розплаву на охолоджувальному обертовому мідному барабані, тому для неї розрізняють контактну (к) та зовнішню (з) поверхні, які відрізняються рівнем структурованості [5]. Зразки сплаву синтезовано групою науковців під керівництвом завідувача відділом кристалізації В. К. Носенка Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України [6].

Первинними плівкоутворювальними речовинами були гетерофункціональний олігомер на основі вінілацетату (ВА), 2-трет-бутилперокси-2-метил-5-гексен-3-іну (ВЕР) та малеїнового ангідриду (МА), тобто ВА:ВЕР:МА = 1:1:1 загальною формулою:



та на основі вінілацетату (ВА), 3-трет-бутилперокси-3-фенілбутилметакрилату (ТБПФМ) та малеїнового ангідриду (МА), тобто ВА:ТБПФМ:МА=1:1:1 загальною формулою:



Пероксидний олігомер-плівкоутворювач синтезовано співробітниками кафедри органічної хімії Національного університету "Львівська політехніка" під керівництвом докторів хімічних наук Заїченко О. С. та Мітіної Н. Є. Олігопероксидні покриття формували шляхом витримування як залізного, так і кобальтового зразків АМС у (0,1–1,0) % розчинах ОП протягом 10 або (10+10) хв.

Електрохімічні параметри АМС-електродів у 0,5 М водному розчині натрій хлориду досліджували потенціометрично. Значення потенціалу робочого електрода визначали порівняно з хлорсрібним $\text{Cl}^- | \text{AgCl} | \text{Ag}(\text{тв.})$ електродом. Робочий електрод площею 0,25 cm^2 – стрічка АМС товщиною 25 μm (зовнішня і контактна поверхні) [7].

3. Результати досліджень та їх обговорення

Якість поверхневих плівок, одержаних на твердій поверхні з розчинів олігомерів, залежить як від стану поверхні, так і природи плівкоутворювача [8]. Досліджувані АМС-електроди, крім основних компонентів, заліза та кобальту, а також силіцію та бору, містять Ni, Mo та Fe, відповідно, що також визначає їхню спорідненість до плівкоутворення. Досліджуваний олігопероксид має розгалужену будову і багатофункціональні групи, які можуть адсорбуватися на межі фаз [9, 10].

Оцінка тривкості плівок, сформованих із розчинів різної концентрації на поверхні аморфного сплаву $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ (табл. 1), показала, що плівка ОП-1, отримана з 0,1 % водно-аміачного розчину не призводить до підвищення антикорозійних властивостей і збільшує час встановлення потенціалу на контактній поверхні електрода в три рази незалежно від тривалості формування плівки. Практично у всіх досліджуваних випадках тривалість встановлення значення стаціонарного потенціалу на зовнішньому боці вища від контактного (табл. 1).

Плівки найкращої якості утворюються на поверхні даних сплавів з 0,5 % водно-аміачного розчину ОП-1. Очевидно, зі збільшенням концентрації розчину перебудовується структура адсорбційного шару та змінюється конформація адсорбованих молекул. За невеликої концентрації розчину після первинного зв'язування макромолекули в одній точці внаслідок гнучкості ланцюга та теплового руху молекул можливе збільшення кількості контактів ланцюга з поверхнею. За вищих концентрацій плівкоутворювача адсорбційний шар утворений згорнутими клубками і є мономолекулярним стосовно них.

Таблиця 1

Результати потенціометричних досліджень АМС $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$
у 0,5 М водному розчині NaCl

Table 1

The results of potentiometric investigation of amorphous alloy $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ in 0.5 M NaCl aqueous solution

Повєрхня	Соп-1	0 %		0,1 %		0,5 %		1,0 %	
	Тривалість плівкоутворення, хв	$E_c, \text{В}$	$t, \text{с}$	$E_c, \text{В}$	$t, \text{с}$	$E_c, \text{В}$	$t, \text{с}$	$E_c, \text{В}$	$t, \text{с}$
к	10	-0,64	100	-0,64	360	-0,63	450	-0,62	550
	10+10			-0,64	300	-0,62	600	-0,64	240
з	10	-0,64	530	-0,65	500	-0,64	500	-0,63	730
	10+10			-0,67	900	-0,63	800	-0,64	350

Систему метал–покриття–електроліт варто розглядати як електрохімічно активну систему, яка має специфічні властивості, пов'язані з наявністю на поверхні металу плівки полімерного покриття, що змінює характер дифузії реагуючих речовин і кінетику електрохімічних реакцій [11]. Для оцінки спорідненості олігопероксидів-плівкоутворювачів до АМС $\text{Co}_{75,5}\text{Fe}_{4,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ на поверхні зразків сплаву формувались плівки шляхом витримування в 1 % аміачних розчинах протягом 10 та (10+10) хв (табл. 2).

Аналіз результатів потенціометричного дослідження кінетики встановлення потенціалу на поверхні АМС-електрода на основі кобальту підтвердив вищу тривкість контактної поверхні, про що свідчить додатніше значення потенціалу ($E_c = -0,46$ В) та більша швидкість його досягнення ($8 \cdot 10^{-4}$ В/с) (табл. 2). У випадку зразків, попередньо покритих плівками олігопероксидів, з'ясовано, що захисна здатність плівки суттєво залежить від природи плівкоутворювача та тривалості формування плівки. Значення потенціалів змінюються несуттєво (табл. 2). Однак зсув значень як в анодний, так і в катодний бік засвідчує, очевидно, що покриття формуються на контактній та зовнішній поверхні стрічки АМС по-різному. Захисну здатність такого покриття визначають адгезією або іншим дифузійним обмеженням.

Таблиця 2

Результати потенціометричних досліджень аморфного сплаву $Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, покритого плівкою олігопероксиду, у 0,5 М водному розчині NaCl ($C_{OP} = 1,0$ %)

Table 2

The results of potentiometric investigation of amorphous alloy $Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, coated with oligoperoxide film, in 0.5 M NaCl aqueous solution ($C_{OP} = 1,0$ %)

Олігопероксид	Час формування плівки, хв	Поверхня	$-E_0$, В	$-E_c$, В	t, с	$v \cdot 10^4$, В/с
-	-	к	0,37	0,46	660	8,0
		з	0,43	0,48	540	3,0
	10	к	0,36	0,47	300	15,5
		з	0,44	0,47	420	6,0
ВА:ВЕП:МА (ОП-1)	10+10	к	0,39	0,43	360	4,0
		з	0,42	0,46	365	5,0
ВА:ТБПФМ:МА (ОП-2)	10	к	0,42	0,46	300	4,0
		з	0,42	0,47	720	4,0
	10+10	к	0,39	0,44	150	6,0
		з	0,38	0,47	210	12,0

Порівняння результатів потенціометричних досліджень (табл. 2) показало, що плівка, сформована протягом 10 хвилин з аміачного розчину ОП-1 на поверхні сплаву $Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, підвищує корозійну тривкість у 0,5 М водному розчині NaCl зовнішньої поверхні, проте, навпаки, сприяє корозії контактної. Унаслідок плівкоутворення (10+10) хвилин утворюється тривка плівка на обох поверхнях стрічки, про що свідчить зсув значень потенціалу в додатний бік (табл. 2). Причому для контактної поверхні цей зсув є більшим. Зміна значень потенціалів поверхонь АМС $Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, покритих плівкою з аміачного розчину ОП-2, є, практично, аналогічною. Однак плівка з ОП-1 є тривкішою ($E_c = -0,43$ В) (табл. 2). Очевидно, це пов'язано з меншою швидкістю дифузії до поверхні значно більших молекул ОП-2. Отже, оптимальним часом плівкоутворення для цієї поверхні є (10+10) хвилин.

Формування плівки олігопероксидів швидше відбувається на зовнішній поверхні стрічки АМС, яка характеризується вищим ступенем кристалічності. Однак досліджувані процеси плівкоутворення відбувалися на металевих поверхнях на основі Co та Fe, які покриті, очевидно, самочинно утвореними оксидними шарами. У зв'язку з цим проведено дослідження формування плівок на поверхнях, очищених від оксидів, шляхом витримання в HF, а тоді очищену поверхню додатково окиснювали у розчині $KMnO_4$ (рис. 1, 2).

У випадку сплаву $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ (рис. 1) руйнування оксидного шару як на контактній, так і зовнішній поверхнях знижує корозійну тривкість зразків. Це відображається зсувом потенціалу поверхні у катодний бік, що у випадку зовнішньої поверхні становить 0,08 В. Формування плівки олігопероксида на такій модифікованій підкладці дещо підвищує її корозійну тривкість у водному розчині натрій хлориду (рис. 1). Найвищою тривкістю характеризуються обидві поверхні, на яких зруйновано самочинно утворену оксидну плівку, але сформовані оксидні шари за рахунок витримування у розчині KMnO_4 .

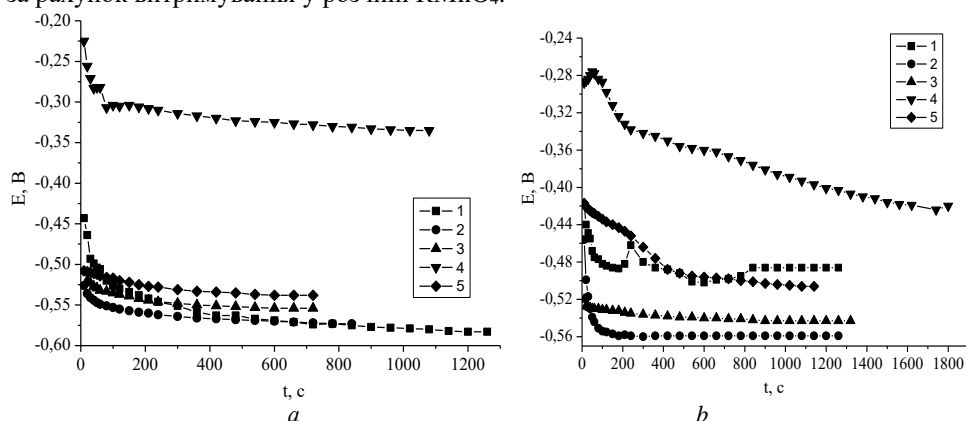


Рис. 1. Кінетика встановлення потенціалу контактної (а) та зовнішньої (б) поверхонь АМС $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ у 0,5 М водному розчині NaCl : 1 – початкова поверхня; 2 – очищена у HF ; 3 – очищена у $\text{HF} + 1\%$ ОП-1; 4 – очищена у $\text{HF} + \text{KMnO}_4$; 5 – очищена у $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{ОП-1}$

Fig. 1. Kinetics of establishing the potential of the contact (a) and external (b) surfaces of amorphous alloy $\text{Fe}_{78,5}\text{Ni}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ in 0.5 M NaCl aqueous solution: 1 – initial surface; 2 – purified in HF ; 3 – purified in $\text{HF} + 1\%$ OP-; 4 – purified in $\text{HF} + \text{KMnO}_4$; 5 – purified in $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{OP-1}$

На основі аналогічних досліджень АМС $\text{Co}_{75,5}\text{Fe}_{4,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ (рис. 2, табл. 3) з'ясовано, що, як і у випадку сплаву на основі Fe , руйнування самочинно сформованих оксидних шарів на поверхні знижує її корозійну тривкість, проте дещо менше. Різниця потенціалів становить, відповідно, 0,04 В.

Таблиця 3

Результати потенціометричних досліджень АМС $\text{Co}_{75,5}\text{Fe}_{4,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ у 0,5 М водному розчині NaCl

Table 3

The results of potentiometric investigation of amorphous alloy $\text{Co}_{75,5}\text{Fe}_{4,5}\text{Si}_{6,0}\text{B}_{14,0}$ in 0.5 M NaCl aqueous solution

Обробка поверхні	$-E_0$, В	$-E_c$, В	ΔE , В	t, c	$v \cdot 10^4$, В/с
–	0,34	0,38	0,039	480	6,5
Очищений у HF	0,36	0,40	0,042	360	7,0
Очищений у $\text{HF} + \text{ОП-1}$	0,35	0,41	0,062	600	10,3
Очищений у $\text{HF} + \text{KMnO}_4$	0,27	0,38	0,108	540	18,0
Очищений у $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{ОП-1}$	0,36	0,40	0,041	780	6,8
Очищений у $\text{HF} + \text{ОП-2}$	0,37	0,39	0,021	480	3,5
Очищений у $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{ОП-2}$	0,36	0,40	0,040	1 020	6,7

Однак формування оксидних шарів шляхом витримування у розчині KMnO_4 не підвищує корозійну тривкість цього сплаву. Крім того, корозійна тривкість також залежить від природи олігомера-плівкоутворювача.

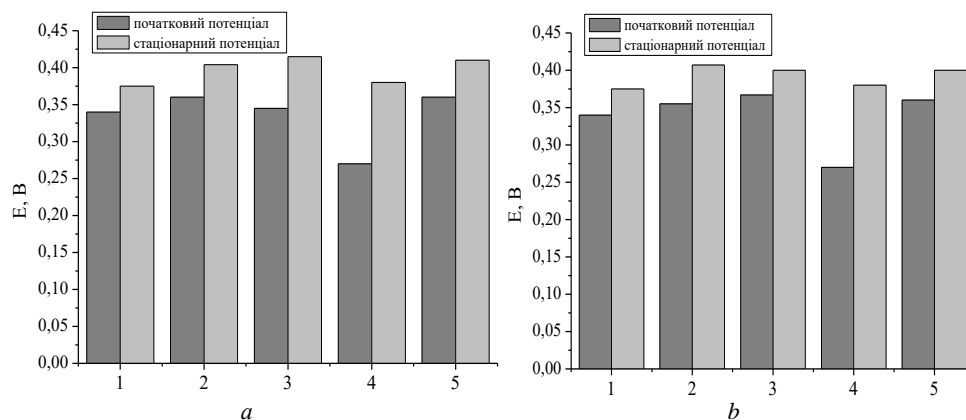


Рис. 2. Початкові та стаціонарні потенціали контактної поверхні АМС $\text{Co}_{75.5}\text{Fe}_{4.5}\text{Si}_{6.0}\text{B}_{14.0}$ у 0,5 М водному NaCl : 1 – початкова поверхня; 2 – очищена у HF ; 3 – очищена у $\text{HF} + 1\%$ ОП-1; 4 – очищена у $\text{HF} + \text{KMnO}_4$; 5 – очищена у $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{ОП-1}$ (a); 3 – очищена у $\text{HF} + 1\%$ ОП-2; 5 – очищена у $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{ОП-2}$ (b)

Fig. 2. Initial and stationer potentials of the contact surfaces of amorphous alloy $\text{Co}_{75.5}\text{Fe}_{4.5}\text{Si}_{6.0}\text{B}_{14.0}$ in 0.5 M NaCl aqueous solution: 1 – initial surface; 2 – purified in HF ; 3 – purified in $\text{HF} + 1\%$ OP-1; 4 – purified in $\text{HF} + \text{KMnO}_4$; 5 – purified in $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{OP-1}$ (a); 3 – purified in $\text{HF} + 1\%$ OP-2; 5 – purified in $\text{HF} + \text{KMnO}_4 + \text{OP-2}$ (b)

Очевидно, очистку поверхонь аморфних сплавів витримуванням у HF , а згодом додаткове формування оксидних шарів у KMnO_4 , можна використовувати як спосіб модифікації АМС.

4. Висновки

У 0,5 М водному розчині натрій хлориду поверхневі оксидні шари АМС піддаються розчиненню і відбувається корозія поверхні. Після утворення плівки олігопероксиду з 0,5 та 1,0 % водно-аміачних розчинів на такій поверхні значення стаціонарного потенціалу не змінюється за контакту із агресивним середовищем, що пов'язано зі створенням додаткового опору процесам переносу заряджених частинок.

Визначено, що тривкість одержаних плівок суттєво залежить від концентрації розчину плівкоутворювача. За збільшення концентрації розчину олігопероксиду в межах (0,1–1,0) % можлива зміна конформації адсорбованих макромолекул і перебудова адсорбційного шару, що частіше знижує щільність плівки. Найщільні плівки формуються на поверхні сплавів на основі Fe з 0,5 % ОП-1 водно-аміачних розчинів олігопероксидів, а на основі Co – з 0,1 % розчинів ОП-1 та ОП-2.

1. *Hasegawa R.* Applications of amorphous magnetic alloys // *Mater. Sci. Eng.: A.* 2004. Vol. 375–377. P. 90–97. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-2965-9_17
2. *Belozarov V., Starobutsev Yu.* Amorphous metallic materials // *Silovaya electronica.* 2009. No. 2. P. 86–89 (in Russian).
3. *Hertsyk O. M., Kovbuz M. O., Kostruba A. M., Mitina N. E., Boichyshyn L. M.* Features of forming superficial layers of oligoperoxides on glass surfaces // *Him. Fiz. Tehnol. Poverhni.* 2010. Vol. 1. Is. 4. P. 431–435 (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15407/hftp>
4. *Tan C. K., Blackwood D. J.* Corrosion protection by multilayered conducting polymer coatings // *Corros. Sci.* 2003. Vol. 45. Is. 3. P. 545–547. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(02\)00144-0](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(02)00144-0)
5. *Dominguez-Crespo M. A., Torre-Huerta A. M., Brachetti-Sibaja B., Flores-Vela A.* Electrochemical performance of Ni-RE (RE = rare earth) as electrode material for hydrogen evolution reaction in alkaline medium // *Int. J. Hydrogen Energ.* 2011. Vol. 36. Is. 1. P. 135–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.09.064>
6. *Nosenko V. K.* Amorphous and nanocrystalline alloys for instrument making and energy efficient technologies // *Visnyk NAS Ukraine.* 2015. Is. 4. P. 68–79. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2015.04.068>
7. *Hertsyk O. M., Kovbuz M. O., Ezers'ka O. A., Pereverzeva T. H.* Modification of the surface of soft magnetic amorphous alloys by oligomers for the formation of durable corrosion-resistant coatings // *Mat. Sci.* 2011. Vol. 47. Is. 3. P. 401–407. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-011-9409-2>
8. *Kostruba A., Zaichenko A., Mitina N., Rayevska K., Hertsyk K.* Kinetics of the formation and structure of oligoperoxide nanolayers and grafted polymer brushes on glass plate surface // *Cent. Eur. J. Phys.* 2008. Vol. 6. Is. 3. P. 454–461. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11534-008-0097-y>
9. *Hertsyk O. M., Kovbuz M. O., Bednarska L. M., Pereverzeva T. H.* Optimization of the method of formation anticorrosion coatings on the surface of amorphous alloys based on cobalt // *Visnyk NTU "KhPI".* 2008. Vol. 32. P. 50–54 (in Ukrainian).
10. *Kovbuz M., Hertsyk O., Bednarska L., Kotur B.* Formation of oligomeric coatings on the surface of cobalt amorphous alloys // *Proc. Shevchenko Sci. Soc. Chem. Sci.* 2008. Vol. 21. P. 133–149 (in Ukrainian).
11. *Hertsyk O. M., Kovbuz M. O., Bednarska L. M.* Electrochemistry of oligoperoxide films on the surface of amorphous metallic alloys // *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies.* 2008. Vol. 6. Is. 4. P. 1199–1205 (in Ukrainian).

FEATURES OF MODIFICATION OF AMORPHOUS METALLIC ALLOYS BY OLIGOMERIC COATINGS

O. Hertsyk^{1*}, T. Hula¹, M. Lopachak¹, S. Buvanyk¹, N. Pandiak²

*¹Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla i Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: o_hertsyk@yahoo.com;*

*²Ukrainian State University of Forestry and Wood Technology,
General Chuprynka Str., 103, 79057 Lviv, Ukraine*

By potentiometric method it was investigated the dissolution in 0.5 M NaCl aqueous solution of the initial amorphous metallic alloys $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, $Co_{75,5}Fe_{4,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, and with the applied oligoperoxide layers. Preliminary chemical cleaning by HF of the surfaces of original amorphous alloy activates their corrosion, and subsequent aging in a solution of $KMnO_4$ helps to restore the oxide protective layers. In an aggressive environment of sodium chloride oxide films are dissolved and corrosion of the amorphous alloy's surface is presented. It is important to create additional protection of the alloys surface by applying oligomeric layers. After the formation of an oligoperoxide film on such a surface, the value of the stationary potential does not change upon contact with an aggressive medium, which is associated with the creation of additional resistance to the transfer of charged particles. According to electrochemical parameters, the stability of oligoperoxide films was evaluated: vinyl acetate, 2-tert-butylperoxy-2-methyl-5-hexen-3-yne and maleic anhydride (OP-1), vinyl acetate, 3-tert-butylperoxy-3-phenylbutylmethacrylate and maleic anhydride (OP-2) on the investigated amorphous alloys. It was shown that more stable films are formed on the external side of the tape of amorphous alloy, which contains a larger proportion of the crystalline phase. It was established that the stability of the obtained films significantly depends on the concentration of the film-forming solution. With increasing concentration of the oligoperoxide solution, it is possible to change the conformation of the adsorbed macromolecules and rearrange the adsorption layer, which often reduces the density of the film. The densest films are formed on the surface of alloys based on iron with 0,5 % OP-1 aqueous-ammonia solutions of oligoperoxides, and based on cobalt – with 0,1 % solutions OP-1 and OP-2.

Keywords: amorphous metallic alloys, oligomeric coatings, potentiometry, corrosion resistance.

Стаття надійшла до редколегії 01.11.2020

Прийнята до друку 18.05.2021