

PACS numbers: 61.43.Dg, 75.50.Bb, 81.65.Kn, 82.45.Bb, 82.45.Fk, 82.45.Yz, 82.80.Fk

### Корозійна тривкість ступу

### $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$ у водних середовищах з різним рН

О. М. Герцик\*, М. О. Ковбуз\*, Л. М. Бойчишин\*, Т. Г. Переверзева\*,  
В. К. Носенко\*\*

\*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6,  
79005 Львів, Україна

\*\*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,  
бульв. Акад. Вернадського, 36,  
03680, МСП, Київ-142, Україна

Досліджено вплив умов одержання на морфологію і електрохімічні властивості об'ємного й стрічкового аморфного  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  ступу у агресивних середовищах з різним рН. Виявлено вищу корозійну тривкість стрічкового зразка у 0,5М-водних розчинах NaCl, KOH та HCl порівняно з об'ємним зразком аналогічного складу шихти. Показано, що як стрічковий, так і об'ємний зразки даного складу є тривкішими у 0,5 М-водному розчині HCl.

Influence of fabrication conditions on the morphology and electrochemical properties of bulk and tape amorphous  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  alloy in aggressive mediums with various pH is investigated. On the surface of bulk alloys during hardening at lower cooling rates than during fabrication of tape samples, different ('dark' and 'light') phases enriched with Fe and Co are formed. New phases can be formed from reactionary atoms that leads after active dissolution to passivation of the bulk sample surface. Tape sample has higher corrosion resistance in 0.5 M aqueous solutions of NaCl, HCl and KOH as compared with bulk sample of similar composition. As shown, the tape and bulk samples with such composition are more resistant in 0.5 M HCl aqueous solution.

Исследовано влияние условий получения на морфологию и электрохимические свойства объёмного и ленточного аморфного сплава  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  в агрессивных средах с различным рН. Установлена более высокая коррозионная стойкость ленточного образца в 0,5 М-водных растворах NaCl, KOH и HCl по сравнению с

объёмным образцом аналогичного состава шихты. Продемонстрировано, что как ленточный, так и объёмный образцы данного состава являются более стойкими в 0,5М-водном растворе HCl.

**Ключові слова:** стрічкові й об'ємні аморфні стопи, залізо, електрохімічна корозія, вольтамперометрія.

**Key words:** tape and bulk amorphous metallic alloys, iron, electrochemical corrosion, voltammetry.

**Ключевые слова:** ленточные и объёмные аморфные сплавы, железо, электрохимическая коррозия, вольтамперометрия.

*(Отримано 16 червня 2016 р.)*

## 1. ВСТУП

Властивості аморфних металевих стопів (АМС) та можливості практичного застосування визначаються, в першу чергу, їхньою структурою та елементним складом. Аморфні матеріали залежно від складу, мають високу міцність, твердість, відмінні магнетом'які властивості [1–6]. Крім того, аморфні стопи на основі Fe, Co та Ni, які містять Cr і P, володіють порівняно високою корозійною тривкістю в різних агресивних середовищах. Вони також практично не піддаються піттинговій корозії, навіть при анодній поляризації в розчинах натрій хлориду [5]. Відомо, що наявність хрому у стопах істотно підвищує їхню здатність до пасивації в агресивних середовищах [7, 8]. Хром формує щільні бездефектні плівки гідрату оксогідрооксиду ( $\text{CrO}_x(\text{OH})_{3-2x} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), що створює дифузійний бар'єр агресивним йонам до поверхні металу, нікель стабілізує наноструктуру стопу, а добавки ванадію підвищують мікротвердість.

АМС відносяться до самозахищених стопів, тобто можуть пасивуватися як в атмосферних умовах, так і в агресивних середовищах. Причинами, які зумовлюють таку високу корозійну тривкість, є хемічна однорідність матеріалу, відсутність на його поверхні дефектів типу неметалічних включень, вакансій, дислокацій, висока хемічна активність, яка веде до швидкого утворення захисної плівки [9–12]. Пасивація металів в агресивних середовищах відбувається в основному за рахунок активного розчинення металу в початковому періоді часу. Це розчинення необхідне для формування пасивної плівки шляхом осадження або анодного відкладення продукту реакції. Корозійна тривкість АМС є результатом високої швидкості утворення пасивної плівки.

Проте хемічні властивості аморфних металевих стопів визначаються не тільки їх хемічним складом, але й формою зразків

(стрічка, порошок, брусок), тобто умовами їх синтези [9]. Тому для широкого застосування композиційно оптимізованого багатокомпонентного ступу  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  і виникає необхідність експериментального дослідження його антикорозійної тривкості у агресивних середовищах різного складу.

## 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Стрічка аморфного ступу  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  отримана методом швидкого гартування ( $10^6$  К/с) розтопу на охолоджуючому обертовому мідному барабані, тому в електрохімічних дослідженнях розрізняли контактний (к) та зовнішній (з) боки, які дещо відрізняються складом та рівнем структурованості [12]. Об'ємний зразок (брусок) АМС виготовлений у кварцовому тиглі в атмосфері повітря в Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України (м. Київ).

Електрохімічні дослідження (потенціометрія і циклічна вольтамперометрія) зразків ступу проводились з допомогою комплексу Jaissle Potentiostat-Halvanostat IMR 88 PCR. Потенціометрія АМС-електрод відносно срібнохлоридної електроди порівняння ( $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}_{\text{нас}}$ ) проводилася при розімкненому зовнішньому електричному полі у 0,5 М-водних розчинах  $\text{NaCl}$  ( $\text{pH} = 6,2$ ),  $\text{KOH}$  ( $\text{pH} = 13,7$ ) та  $\text{HCl}$  ( $\text{pH} = 0,3$ ). Для вольтамперометричних досліджень методом багаторазової циклічної зміни потенціалу використовували триелектродну схему, де робоча АМС-електрода (площа  $0,3 \text{ см}^2$ ) — електрода порівняння  $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}_{\text{нас}}$  та допоміжна електрода —  $0,5 \text{ см}^2$  Pt-пластинка. Електроліти — 0,5 М-водні розчини  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KOH}$  та  $\text{HCl}$ .

Мікроскопічні дослідження проводили на сканівному (растровому) електронному мікроскопі JSM-6480 фірми JEOL, в якому зображення досліджуваного об'єкту формується при скануванні його поверхні точно сфокусованим (5–10 нм) пучком електронів. Енергодисперсійну мікроаналізу проводили за допомогою енергодисперсійного спектрометра Oxford INCAEnergy 51-ADD0098, що є приставкою до електронного мікроскопа JEOL 7000F.

## 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Особливості одержання стрічкових та об'ємних зразків зумовлюють різницю рельєфу та компонентного складу поверхонь АМС різної форми, що, очевидно, визначає їх фізико-хімічні властивості, зокрема, електрохімічну активність у водних агресивних середовищах.

Результати енергодисперсійної аналізи поверхні зразків різної

форми показали, що на поверхні об'ємного зразка можна виділити кілька фаз (рис. 1), зокрема, темну та сіру, які збагачені по відношенню до складу шихти на Fe і Cr, та світлу — збагачену на V і Мо (табл. 1).

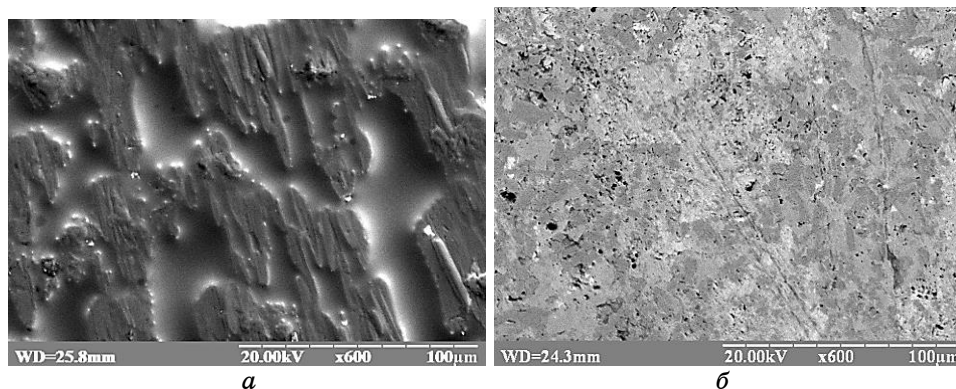


Рис. 1. Мікрофотографії контактної поверхні (а) та бруски (б) аморфного сплаву  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$ .<sup>1</sup>

ТАБЛИЦЯ 1. Вміст металевих компонентів на поверхні зразків  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  (мас. %).<sup>2</sup>

Зразок	Фаза	Fe	Ni	Cr	V	Mo
Склад шихти	—	55,00	20,80	7,04	1,07	1,61
Стрічка	—	61,25	17,55	8,08	0,05	2,78
	Темна	67,67	5,74	21,1	1,61	2,21
Брусок	Сіра	65,13	8,28	15,8	2,77	6,29
	Світла	44,19	15,1	5,95	1,31	32,0

ТАБЛИЦЯ 2. Фізико-хімічні характеристики металічних елементів [13].<sup>3</sup>

Назва елемента	Металічний радіус атома, нм	Умовний радіус йону, нм	Енергія йонізації $E \rightarrow E^+$ , еВ	Стандартний електродний потенціал $E_{298}^0$ , В
Fe	0,126	0,067	7,89	-0,44
Ni	0,124	0,074	7,64	-0,25
Mo	0,139	0,065	7,10	-0,20
Cr	0,127	0,035	6,77	-0,74
V	0,134	0,040	6,74	-0,26

Механізм розчинення АМС визначається кількістю та енергетичним рівнем активних атомів на поверхні. Оскільки досліджувані стопи є багатокомпонентними системами, складові яких істотно відрізняються фізико-хімічними характеристиками (табл. 2), то реакції окиснення конкурують між собою і роблять внесок у загальний потенціаловизначальний процес.

Під час контакту АМС з агресивним середовищем початковий потенціал змінюється в часі і поступово набирає стабільного значення стаціонарного потенціалу  $E_c$ .

Аналіза електрохімічних характеристик стрічкового й об'ємного зразків  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$ , одержаних хронопотенціометрично у 0,5 М-водному розчині NaCl показала, що значення потенціалів обох боків стрічки є позитивнішими за значення вільного потенціалу об'ємного зразка. Тобто стрічковий АМС є корозійнотривкішим порівняно з об'ємним стопом відповідного складу шихти (табл. 3).

Аналогічна закономірність простежується і в лужному середовищі (табл. 3). Однак як стрічковий, так і об'ємний зразки у 0,5 М-водному розчині КОН є менш корозійнотривкими порівняно з розчином натрій хлориду.

У випадку стрічкових зразків, скануючи потенціал, можна реєструвати послідовність окремих стадій розчинення і пасивації поверхні аморфного стопу. Композиційна неоднорідність поверхні об'ємного зразка зумовлює паралельний перебіг різних стадій одночасно. Неоднорідність зумовлено повільнішим гартуванням розтопу в процесі виготовлення бруска в порівнянні зі стрічкою та вищою ймовірністю кластеризації і фазових перегруповань в об'ємних зразках. Це зумовлює розділення маршрутів реакції окислення металевих компонентів стопу і вихід йонів в розчин.

**ТАБЛИЦЯ 3.** Результати хронопотенціометричних досліджень зразків  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  у різних агресивних середовищах.<sup>4</sup>

Середовище	Зразок	Бік	$-E_0$ , В	$-E_c$ , В	$-E$ , В	$V \cdot 10^4$ , В/с
0,5 М NaCl	Стрічка	к	0,14	0,17	0,03	6,67
		з	0,10	0,11	0,01	5,00
	Брусок		0,37	0,25	0,30	0,05
0,5 М КОН	Стрічка	к	0,36	0,28	0,08	15,0
		з	0,53	0,40	0,01	3,33
	Брусок		0,78	0,59	0,41	0,18
0,5 М HCl	Стрічка	к	0,24	0,40	0,16	16,7
		з	0,32	0,42	0,10	8,33
	Брусок		0,54	0,51	0,03	0,74

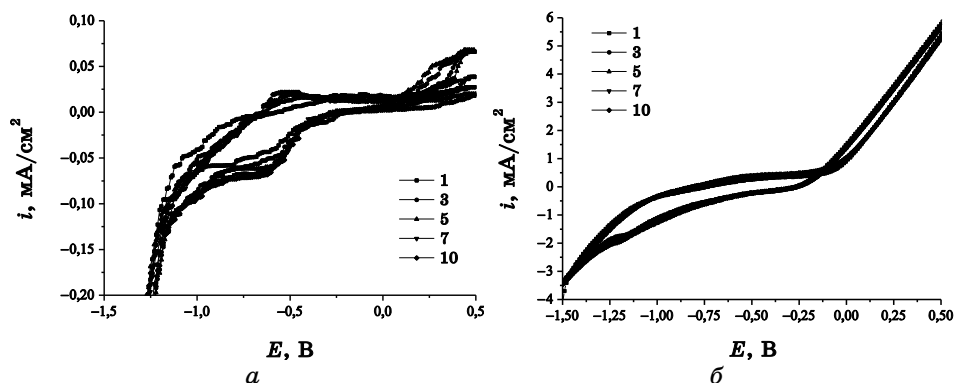


Рис. 2. Циклічні вольтамперограми контактної (а) та зовнішньої (б) поверхонь стрічки  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  у 0,5 М-водному розчині NaCl (1, 3, 5, 7, 10 — номер циклу).<sup>6</sup>

За даними циклічної вольтамперометрії в умовах примусового навантаження зовнішнього потенціалу в межах  $-1,5$ – $+0,5$  В електрохімічні характеристики ступу у вигляді стрічки і об'ємного зразка у 0,5 М водному розчині NaCl є близькими (рис. 2, табл. 4). Однак форма циклічних вольтамперограм суттєво відрізняється, що підтверджує відмінні механізми взаємодії стрічкових та об'ємних зразків з агресивним середовищем.

В контакт з агресивним середовищем 0,5 М натрій хлориду та

ТАБЛИЦЯ 4. Електрохімічні характеристики зразків  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  у 0,5 М-водному розчині NaCl.<sup>5</sup>

Цикл	Контактний бік		Зовнішній бік		Об'ємний зразок	
	$-E_{\text{кор}}, \text{В}$	$i_{\text{кор}} \cdot 10^5, \text{А/см}^2$	$-E_{\text{кор}}, \text{В}$	$i_{\text{кор}} \cdot 10^5, \text{А/см}^2$	$-E_{\text{кор}}, \text{В}$	$i_{\text{кор}} \cdot 10^5, \text{А/см}^2$
0,5 М-водний розчин NaCl						
1	0,53	0,49	0,65	0,72	0,73	1,74
5	0,65	0,77	0,65	0,69	0,81	1,86
10	0,67	0,51	0,69	0,58	0,82	1,15
0,5 М-водний розчин КОН						
1	0,67	0,39	0,85	0,93	0,95	3,12
5	0,49	0,59	0,86	0,75	0,94	1,77
10	0,45	0,20	0,86	0,99	0,96	1,02
0,5 М-водний розчин HCl						
1	0,21	2,11	0,26	0,19	0,28	2,29
5	0,20	0,64	0,24	1,32	0,30	2,76
10	0,19	0,14	0,25	1,05	0,31	1,98

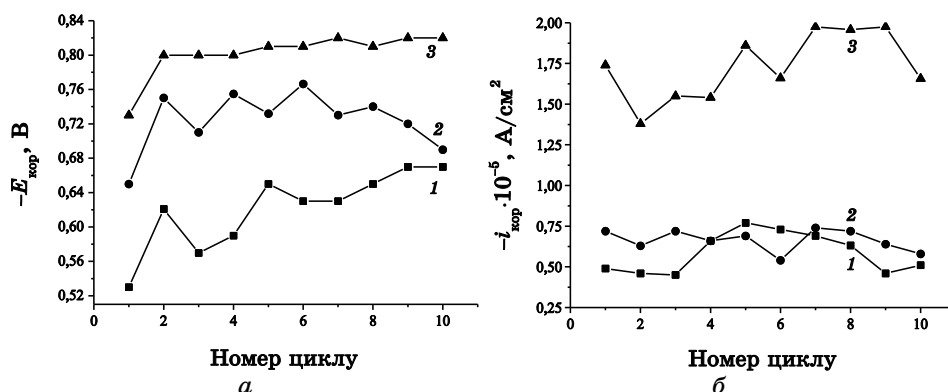


Рис. 3. Зміна потенціалів (а) і густин струмів (б) корозії зразків різної форми (1 — контактний бік стрічки; 2 — зовнішній бік стрічки; 3 — об'ємний зразок) у 0,5 М-розчині  $\text{NaCl}$ .<sup>7</sup>

додатковому багаторазовому циклічному скануванні потенціалу, корозійна тривкість як стрічки, так і об'ємного зразка знижується (рис. 3). Однак, при нижчій тривкості об'ємного зразка, спостерігається невелика її зміна в часі, що підтверджується негати́вними значеннями потенціалу та вищими значеннями струму корозії.

Порівняння значень потенціалів та струмів корозії зразків різної форми досліджуваного стопу у 0,5 М-водному розчині калій гідроксиду також підтверджує вищу стійкість стрічкового зразка, ніж бруска аналогічного складу шихти в цьому агресивному середовищі. Про це свідчать відповідно нижчі значення струмів корозії та позитивніші значення потенціалів корозії стрічки (табл. 4; рис. 4, 5).

Внаслідок тривалого контакту з агресивним середовищем потенціали корозії зсуваються в катодний бік, а струми корозії дещо підвищуються, що засвідчує деяке прискорення окиснювального розчинення стопів даного складу у агресивному середовищі натрій хлориду.

Проаналізувавши одержані методом циклічної вольтамперометрії експериментальні дані, можна стверджувати, що контактна поверхня стопу  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  у даному середовищі проявляє порівняно більшу корозійну тривкість, ніж зовнішня та брусок (табл. 4, рис. 4).

Встановлено, що хлоридна кислота є найменш агресивним середовищем для зразків стопу даного складу, незалежно від форми, оскільки потенціали корозії зсунуті в анодний бік, а струми корозії є нижчими у порівнянні із характеристиками електрохімічного розчинення в 0,5 М-розчинах  $\text{NaCl}$  і  $\text{KOH}$ .

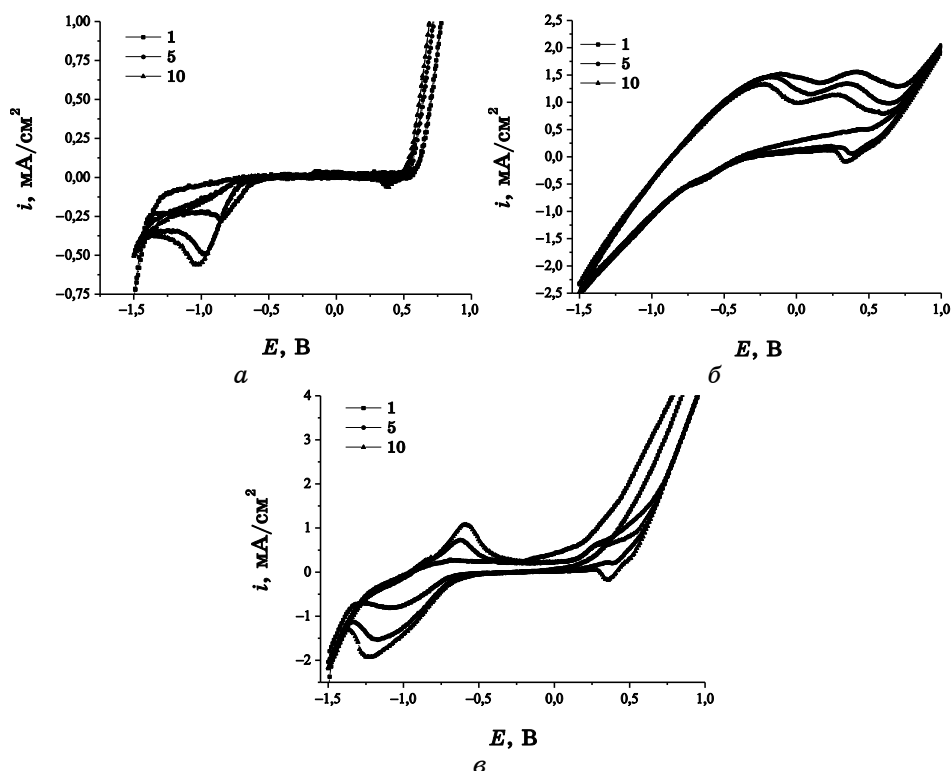


Рис. 4. Вольтамперограми контактної (а) та зовнішнього (б) боків стрічки й об'ємного зразків стопу  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  у 0,5 М-водному розчині КОН (1, 5, 10 — номер циклу).

#### 4. ВИСНОВКИ

На поверхні об'ємних стопів під час гартування при менших швидкостях охолодження, ніж в процесі виробництва стрічкових, виділяються фази різного складу (темна і світла) збагачені Fe і Co.

Вибіркове розчинення інтерметалічних фаз в агресивних розчинах призводить до утворення кластерів з низькою реакційною здатністю, яка під час дальшого процесу розчинення зростає. Це сприяє виникненню нових фаз за рахунок внутрішньокластерної та міжкластерної дифузії, ініційованої утвореними виходом йонів вакансіями.

Новоутворені фази можуть формуватися з реакційноздатних атомів, що приводить після активного розчинення до пасивування поверхні об'ємних зразків.

Стрічкові зразки, особливо контактна поверхня стопу



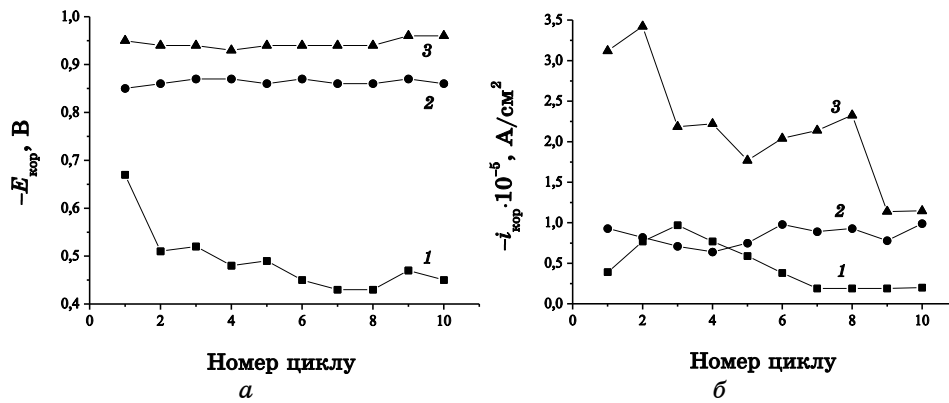


Рис. 5. Зміна потенціалів (а) і густин струмів (б) корозії АМС  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  різної форми (1 — контактний бік стрічки; 2 — зовнішній бік стрічки; 3 — об'ємний зразок) у 0,5 М-розчині КОН.<sup>9</sup>

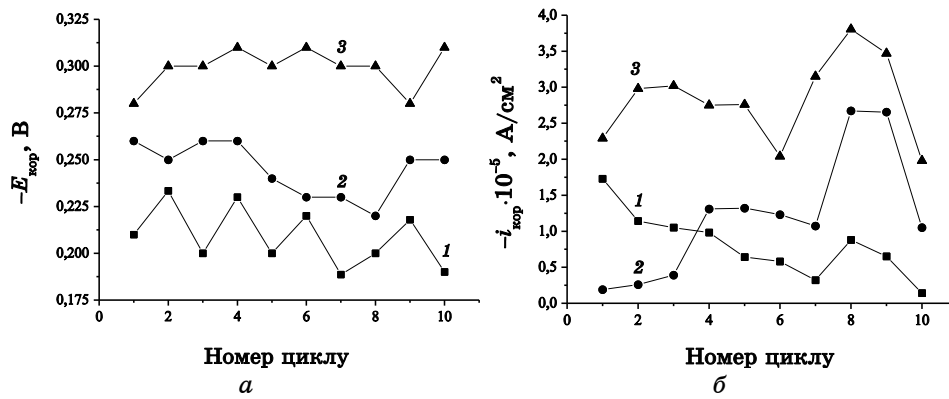


Рис. 6. Зміна потенціалів (а) і густин струмів (б) корозії АМС  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20,8}\text{Cr}_{7,04}\text{Mo}_{1,61}\text{V}_{1,07}\text{B}_{6,56}\text{C}_{2,67}\text{P}_{4,7}\text{Si}_{1,07}$  різної форми (1 — контактний бік стрічки; 2 — зовнішній бік стрічки; 3 — об'ємний зразок) у 0,5 М-розчині НСІ.<sup>10</sup>

$\text{Fe}_{60}\text{Co}_7\text{Cr}_4\text{V}_2\text{W}_1\text{Mo}_1\text{Nb}_1\text{B}_{20}\text{C}_2\text{Si}_2$ , є корозійнотривкішою у порівнянні із об'ємними зразками аналогічного складу вихідної шихти.

### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Z. L. Long, C. T. Chang, Y. H. Ding, Y. Shao, P. Zhang, B. L. Shen, and A. Inoue, *J. Non-Cryst. Solids*, **354**: 4609 (2008).
2. B. R. Barnard, P. K. Liaw, M. D. Demetriou, and W. L. Johnson, *Corr. Sci.*,

- 50: 2135 (2008).
3. Z. Long, Y. Shao, G. Xie, P. Zhang, B. Shen, and A. Inoue, *J. Alloys Comp.*, **462**: 52 (2008).
  4. L. Wang and Y. Chao, *Mat. Lett.*, **69**: 76 (2012).
  5. F. F. Marzo, A. R. Pierna, J. Barranco, G. Vara, A. Perez, and T. Gomez-Acebo, *J. Non-Cryst. Solids*, **353**: 875 (2007).
  6. X. Li, C. Qin, H. Kato, A. Makino, and A. Inoue, *J. Alloys Comp.*, **509**: 7688 (2011).
  7. P. F. Gostin, S. Oswald, L. Schultz, and A. Gebert, *Corr. Sci.*, **62**: 112 (2012).
  8. Z. L. Long, C. T. Chang, Y. H. Ding, Y. Shao, P. Zhang, B. L. Shen, and A. Inoue, *J. Non-Cryst. Solids*, **354**, Iss. 40–41: 4609 (2008).
  9. О. Герцик, Л. Бойчишин, М. Ковбуз, М.-О. Даниляк, *Вісник Львів. ун-ту. Сер. хім.*, **57**, вип. 2: 534 (2016).
  10. Т. Г. Переверзева, М. О. Ковбуз, Л. М. Бойчишин, Р. Я. Серкіз, Ю. О. Кулик, *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*, **12**, вип. 2: 395 (2014).
  11. М. О. Ковбуз, Л. М. Бойчишин, А. К. Борисюк, Ю. О. Кулик, Б. Я. Котур, *Металлофиз. новейшие технол.*, **34**, № 5: 643 (2012).
  12. О. М. Герцик, М. О. Ковбуз, О. А. Єзерська, Т. Г. Переверзева, Л. М. Беднарська, *Фіз. хім. тверд. тіла*, **12**, № 2: 618 (2011).
  13. Н. С. Ахметов, *Общая и неорганическая химия* (Москва: Высшая школа; Академия: 2001).

## REFERENCES

1. Z. L. Long, C. T. Chang, Y. H. Ding, Y. Shao, P. Zhang, B. L. Shen, and A. Inoue, *J. Non-Cryst. Solids*, **354**: 4609 (2008).
2. B. R. Barnard, P. K. Liaw, M. D. Demetriou, and W. L. Johnson, *Corr. Sci.*, **50**: 2135 (2008).
3. Z. Long, Y. Shao, G. Xie, P. Zhang, B. Shen, and A. Inoue, *J. Alloys Comp.*, **462**: 52 (2008).
4. L. Wang and Y. Chao, *Mat. Lett.*, **69**: 76 (2012).
5. F. F. Marzo, A. R. Pierna, J. Barranco, G. Vara, A. Perez, and T. Gomez-Acebo, *J. Non-Cryst. Solids*, **353**: 875 (2007).
6. X. Li, C. Qin, H. Kato, A. Makino, and A. Inoue, *J. Alloys Comp.*, **509**: 7688 (2011).
7. P. F. Gostin, S. Oswald, L. Schultz, and A. Gebert, *Corr. Sci.*, **62**: 112 (2012).
8. Z. L. Long, C. T. Chang, Y. H. Ding, Y. Shao, P. Zhang, B. L. Shen, and A. Inoue, *J. Non-Cryst. Solids*, **354**, Iss. 40–41: 4609 (2008).
9. О. Герцик, Л. Бойчишин, М. Ковбуз, М.-О. Даниляк, *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.*, **57**, No. 2: 534 (2016) (in Ukrainian).
10. Т. Г. Переверзьева, М. О. Ковбуз, Л. М. Бойчишин, Р. Я. Серкіз, and Ю. О. Кулик, *Nanosistemy, Nanomateriali, Nanotehnologii*, **12**, Iss. 2: 395 (2014) (in Ukrainian).
11. М. О. Ковбуз, Л. М. Бойчишин, А. К. Борисиук, Ю. О. Кулик, and Б. Я. Котур, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **34**, No. 5: 643 (2012) (in

Ukrainian).

12. O. M. Hertsyk, M. O. Kovbuz, O. A. Yezerska, T. G. Pereverzieva, and L. M. Bednarska, *Fiz. Khim. Tverd. Tila*, **12**, No. 2: 618 (2011).
13. N. S. Akhmetov, *Obshchaya i Neorganicheskaya Khimiya (General and Inorganic Chemistry)* (Moscow: Vysshaya Shkola; Akademiya: 2001) (in Russian).

\*\**Ivan Franko National University of Lviv,*

*Kyryla i Mefodiya Str., 6,*

*UA-79005 Lviv, Ukraine*

\*\**G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, NAS of Ukraine,*

*Academician Vernadsky Blvd, 36,*

*UA-03680 Kyiv, Ukraine*

<sup>1</sup> **Fig. 1.** Microphotographs of the contact side (a) and bulk (b) amorphous  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  alloy.

<sup>2</sup> **TABLE 1.** Content of the metal components on the surface of the  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  samples (mass.%).

<sup>3</sup> **TABLE 2.** Physicochemical characteristics of the metal elements [13].

<sup>4</sup> **TABLE 3.** Results of the chronopotentiometric investigation of the  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  samples in various aggressive environments.

<sup>5</sup> **TABLE 4.** Electrochemical characteristics of the  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  samples in 0.5 M aqueous solution of NaCl.

<sup>6</sup> **Fig. 2.** Cyclic voltamperegrams of the contact (a) and external (b) surfaces of the  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  tape in 0.5 M aqueous solution of NaCl (1, 3, 5, 7, 10—numbers of cycle).

<sup>7</sup> **Fig. 3.** Change of corrosion potentials (a) and corrosion currents density (b) of the samples with different shape (1—contact side of the tape; 2—external side of the tape; 3—bulk sample) in 0.5 M solution of NaCl.

<sup>8</sup> **Fig. 4.** Voltamperegrams of the contact (a) and external (b) sides of the tape and bulk  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  alloy in 0.5 M aqueous solution of KOH (1, 5, 10—numbers of cycle).

<sup>9</sup> **Fig. 5.** Change of corrosion potentials (a) and corrosion currents density (b) of the AMA  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  with different shape (1—contact side of the tape; 2—external side of the tape, 3—bulk sample) in 0.5 M solution of KOH.

<sup>10</sup> **Fig. 6.** Change of corrosion potentials (a) and corrosion currents density (b) of the AMA  $\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{20.8}\text{Cr}_{7.04}\text{Mo}_{1.61}\text{V}_{1.07}\text{B}_{6.56}\text{C}_{2.67}\text{P}_{4.7}\text{Si}_{1.07}$  with different shape (1—contact side of the tape; 2—external side of the tape; 3—bulk sample) in 0.5 M solution of HCl.