

УДК 54-161+544.653.22

<https://doi.org/10.37827/ntsh.chem.2025.78.253>

**Тетяна БОДНАР, Марія ЛОПАЧАК, Лідія БОЙЧИШИН**

## **ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ ХРОМОМ НА КОРОЗІЙНУ ТРИВКІСТЬ АМОРФНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ В 0,1 М НСІ**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: bodnar.tanya99@gmail.com*

*Методами потенціометрії та циклічної вольтамперометрії досліджено вплив легування хромом на корозійну тривкість аморфних сплавів (АМС) на основі кобальту  $\text{Co}_{77}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ,  $\text{Co}_{72}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ,  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ,  $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{4,5}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  у 0,1 М водному розчині НСІ. Підтверджено, що електрохімічна активність АМС значною мірою залежить від складу та легування: введення Fe та Cr змінює електродні параметри, потенціал корозії та кінетику окисно-відновних процесів.*

*З'ясовано, що легування АМС  $\text{Co-Si-B}$  9 ат. % Cr не змінює потенціалу корозії, тобто він залишається сталим. Виявлено, що серед досліджених сплав  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  є найстійкішим до корозії у 0,1 М водному розчині НСІ.*

*Ключові слова: аморфний металевий сплав, корозія, циклічна вольтамперометрія.*

### **Вступ**

Аморфні металеві сплави (АМС) не мають кристалічної структури, дислокацій і зерен, що значною мірою знижує ймовірність локалізованої корозії. Це забезпечує формування однорідних і щільних пасивних плівок, здатних ефективно захищати метал від агресивного середовища [1–4]. Структурна однорідність аморфних сплавів забезпечує рівномірне пасивування в середовищах кислот і солей [1, 2]. Наприклад, у [1] продемонстровано, що сплави  $\text{Fe-Ni-Mo-P-C-B}$  після кислотного травлення утворюють пористу структуру з високою електрохімічно активною поверхнею. Аналогічно, дослідження  $\text{Zr-Ni}$  [7] підтверджує, що аморфна структура сприяє утворенню більш щільного оксидного шару, знижуючи швидкість корозії у розчині  $\text{NaCl}$  в 4 рази порівняно з кристалічним аналогом. Важливу роль у підвищенні корозійної тривкості відіграє легування. Зокрема, Mo у Fe-базованих сплавах знижує перенапругу оксигенової реакції та підвищує активну поверхню [1, 8]. Cr і Mo у об'ємних АМС забезпечує формування пасивної плівки на основі  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  і  $\text{MoO}_x$ , що призводить до значного зменшення корозійного струму [3, 5]. Вже у 1979 році Хасімото (Hashimoto) і співавтори довели ефективність легування Cr, Mo, Si для поліпшення корозійної тривкості Fe-основи [4, 9]. Сплав  $\text{Cr}_{40}\text{Co}_{23}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Lu}_2$ , нанесений методом високотемпературного напилення,

продемонстрував виняткову тривкість у середовищі HCl, що в 100 разів перевищує аналогічні показники для Hastelloy C22 [3, 10]. Аморфність на рівні 92,6% сприяє утворенню щільної оксидної плівки [5, 11].

Із створенням технологічних можливостей синтезу високоентропійних аморфних сплавів з'явилася велика кількість публікацій щодо корозійної тривкості. Нееквіатомні високоентропійні сплави, наприклад  $\text{Cu}_2\text{Nb}_{5,6}\text{Cr}_4\text{Fe}_{10}\text{Co}_2\text{Ni}_5$ , демонструють твердість 845 HV і поляризаційний опір понад  $48 \text{ кОм}\cdot\text{см}^2$ , що робить їх конкурентними для хімічної промисловості [2]. Подібно, плівковий FeCrSiNb високоентропійний сплав [3, 12] у середовищі NaCl виявляє значно нижчу густину корозійного струму порівняно з кристалічними аналогами. Як доведено в [5], гомогенна аморфна структура перевершує нанокристалічні аналоги щодо стійкості до деградації.

Важливими чинниками, якими можна регулювати корозійну тривкість, є поверхнева модифікація та методи синтезу АМС. Зокрема, сучасні методи, такі як кислотне витравлювання [1], високотемпературне осадження [3], механічне легування з наступним ультрависокотисковим пресуванням [2], дають змогу оптимізувати структуру та морфологію сплавів. У підсумку формується щільна пасивна плівка, стійка до проникнення  $\text{Cl}^-$  і здатна стабілізуватись навіть у динамічних умовах [5].

Отже, АМС мають значний потенціал для використання у біомедичних імплантатах, морському обладнанні, деталях ядерних реакторів і хімічних реакторах. Їхня довговічність, висока міцність і стійкість до хлоридів забезпечують конкурентоспроможність з найкращими сучасними сплавами [6, 7]. Варто зазначити, аморфні сплави, особливо ті, що містять Cr, Mo, Nb, Si, виявляють високу корозійну стійкість завдяки:

- однорідній беззернистій структурі;
- формуванню щільної пасивної плівки;
- синергетичному впливу легувальних елементів;
- ефективним методам поверхневої модифікації.

Тому мета нашої праці — дослідження, спрямовані на вивчення довготривалої стабільності пасивного стану АМС в розчині HCl.

### Матеріали та методика експерименту

Аморфні стрічки такого складу:  $\text{Co}_{77}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ,  $\text{Co}_{72}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ,  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ,  $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{4,5}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  отримали на установці надшвидкого охолодження розплаву (НШОР) відкритого типу [13]. Розплавлену у тиглі шихту під надлишковим тиском інжектували через сопло товщиною (0,4–0,5 мм) та шириною 20 мм на зовнішню поверхню диска-охолоджувача, що обертається зі швидкістю 40 мм/с. Сплави виготовлені й передані для дослідження з Інституту металофізики НАН України, м. Київ.

Для оцінки впливу легуючих додатків на електрохімічні властивості та формування захисних шарів АМС системи Co–PM–Si–B в агресивних середовищах був використаний метод циклічної вольтамперометрії в потенціодинамічному режимі з автоматичною часовою розгорткою заданого потенціалу поверхні металу за триелектродною схемою. Робочим електродом була пластинка з досліджуваного аморфного сплаву, хлорсрібний електрод порівняння Ag/AgCl/KCl і допоміжний електрод — платинова пластинка ( $0,75 \text{ см}^2$ ). Дослідження проводили у 0,1 М

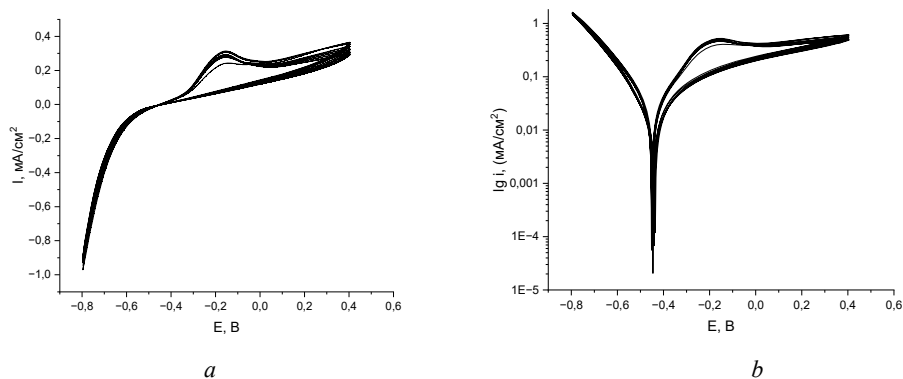
водному розчині  $\text{HCl}$ , швидкість розгортки становила для усіх АМС 50 мВ/с. Вольтамперограми знімали у межах від  $-0.8$  до  $+0.4$  В.

### Результати досліджень

Особливої уваги заслуговують аморфні сплави на основі кобальту, які знаходять застосування у виробництві сенсорів, трансформаторів, електронно-променевих приладів, а також у процесах електрокаталізу, включно з реакціями виділення водню. Особливий інтерес викликає поведінка сплавів, легованих елементами ферум чи хром, які можуть впливати на механізм корозійної стійкості шляхом формування гальванопар або зміни морфології поверхні [14].

Для кількісного аналізу таких систем застосовують метод циклічної вольтамперометрії, який дає змогу оцінити параметри анодно-катодних процесів, потенціал корозії, струм корозії, а також визначити швидкість перенесення заряду.

АМС досліджено методом циклічної вольтамперометрії в потенціодинамічному режимі з автоматичною часовою розгорткою 50 мВ/с. На рис. 1 зображено вольтамперограми вихідного сплаву  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  у 0,1 М водному розчині  $\text{HCl}$ . Зафіксовано десять циклів у діапазоні сканування потенціалу від  $-0,8$  до  $+0,4$  В із швидкістю розгортки 50 мВ/с. Проведено аналіз електрохімічного параметра одного процесу розгортки потенціалу у 0,1 М водному розчині  $\text{HCl}$ .



**Рис. 1.** Циклічні вольтамперограми АМС  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  зняті внаслідок десятиразового сканування потенціалу в межах  $-0,8...+0,4$  В у 0,1 М водному розчині  $\text{HCl}$ :

*a)* не логарифмічні координати, *b)* напівлогарифмічні координати.

**Fig. 1.** Cyclic voltammograms of AMA  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  removed as a result of a 10-time potential scan within  $-0.8...+0.4$  V in a 0.1 M aqueous solution of  $\text{HCl}$ :

*a* – are not logarithmic coordinates, *b* – are semi-logarithmic coordinates.

На АМС поверхні утворюються сполуки різних елементів, залежно від того, чим легований аморфний сплав системи  $\text{Co-Si-B}$ . Порівнявши значення теоретичних і практичних значень потенціалу з табл. 1, можна припустити, що на поверхнях АМС утворюються такі сполуки, як  $\text{CoO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  для сплаву, який легований  $\text{Fe}$  та, можливо  $\text{CrO}$  для сплаву, який легований  $\text{Cr}$ .

У табл. 2 наведено електрохімічні параметри процесу окиснення – відновлення поверхні АМС на основі кобальту. Електрохімічні параметри, розраховані за допомогою рівняння Тафеля

$$\Delta\varphi=a + b\lg i_{\Delta},$$

де а – стала, яка дає інформацію про зміну морфології поверхні внаслідок електрохімічної реакції; b – характеризує швидкість окисно-відновних процесів на поверхні АМС [14].

Таблиця 1

Електрохімічні рівняння для Co, Fe, Cr, Si та В у водному середовищі: теоретичні та експериментальні потенціали (за Марсель Пурбе)

Table 1

Electrochemical equations for Co, Fe, Cr, Si, and B in aqueous media: theoretical and experimental potentials (by Marcel Pourbaix)

	Рівняння	Е <sub>теор</sub>	Е <sub>практ</sub>
Co	Co + H <sub>2</sub> O = CoO + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	0,04	0,04
	3CoO + H <sub>2</sub> O = Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2 e <sup>-</sup>	0,93	
	2Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O= 3Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	0,96	
	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O= 2CoO <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	1,42	
Fe	Fe + H <sub>2</sub> O = FeO + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,11	-0,08
	3Fe + 4H <sub>2</sub> O = Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + 8H <sup>+</sup> + 8e <sup>-</sup>	-0,14	
	2Fe + 3H <sub>2</sub> O = Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 6H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup>	-0,11	
	3FeO+ H <sub>2</sub> O = Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,26	
	2FeO + H <sub>2</sub> O = Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,12	
	2Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O = 3Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	1,15	
Cr	Cr + H <sub>2</sub> O= CrO + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,65	-0,18
	2Cr + 3H <sub>2</sub> O= Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 6H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup>	-0,71	
	2CrO + H <sub>2</sub> O= Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +2H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup>	-0,84	
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O= 2CrO <sub>2</sub> +2H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup>	1,22	
Si	Si +3H <sub>2</sub> O=SiO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O +4e <sup>-</sup>	-0,92	-
B	2B + 3H <sub>2</sub> O = B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +6H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup>	-0,90	-
	B + 3H <sub>2</sub> O = H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> +3H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0,93	
	B <sub>10</sub> H <sub>4</sub> = 10B + 14H <sup>+</sup> +14e <sup>-</sup>	-0,26	
	B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> +30H <sub>2</sub> O=10H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> + 11H <sup>+</sup> +11e <sup>-</sup>	-0,72	

Корозійна тривкість АМС є результатом високої швидкості утворення пасивної плівки. Додатки майже всіх металічних елементів до аморфних сплавів типу метал-металоїд поліпшують їх корозійну тривкість. Однак з’ясовано, що високою пасивністю та корозійною тривкістю аморфні сплави володіють лише при вмісті у їхньому складі хрому [15].

В аморфних сплавах на основі кобальту, в яких пітингова корозія виникає у тих самих умовах, що і в АМС на основі заліза, при легуванні їх хромом швидкість

корозії теж значно зменшується. Також варто зазначити, що корозійна тривкість АМС залежить від їхнього елементного складу та їхньої морфології поверхні [3].

Таблиця 2

Електрохімічні характеристики АМС на основі кобальту  
зняті в межах потенціалів  $-0,8...+0,4$  В у розчині  $0,1$  М НСІ

Table 2

The electrochemical characteristics of cobalt-based AMAs  
are removed within the potentials of  $-0.8...+0.4$  V in a solution of  $0.1$  M HCl

Номер циклу	Е <sub>кор</sub> , В	lg i <sub>кор</sub> , мкА /см <sup>2</sup>	Катодна гілка				Анодна гілка			
			<i>a, B</i>	<i>b, B</i>	<i>lgi</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>	<i>a, B</i>	<i>b, B</i>	<i>lgi</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>
			Co <sub>77</sub> Si <sub>11</sub> B <sub>12</sub>							
1	−0,43	10,00	−1,26	−0,54	−5,33	0,05	0,86	0,38	−5,26	0,07
10	−0,48	10,00	−1,05	−0,50	−5,10	0,05	0,95	0,46	−5,07	0,05
			Co <sub>72</sub> Fe <sub>5</sub> Si <sub>11</sub> B <sub>12</sub>							
1	−0,40	6,00	−1,15	−0,46	−5,50	0,05	1,24	0,46	−5,70	0,05
10	−0,45	20,00	−0,64	−0,27	−5,37	0,10	1,05	0,47	−5,23	0,05
			Co <sub>68</sub> Cr <sub>9</sub> Si <sub>11</sub> B <sub>12</sub>							
1	−0,45	10,00	−0,94	−0,42	−5,24	0,06	0,80	0,35	−5,29	0,07
10	−0,45	10,00	−1,02	−0,47	−5,17	0,05	0,87	0,39	−5,23	0,06
			Co <sub>70</sub> Fe <sub>2,5</sub> Cr <sub>4,5</sub> Si <sub>11</sub> B <sub>12</sub>							
1	−0,46	40,00	−5,22	−2,41	−5,17	0,01	3,52	1,61	−5,19	0,02
10	−0,46	100,00	−8,73	−4,09	−5,13	0,01	5,60	2,58	−5,17	0,01

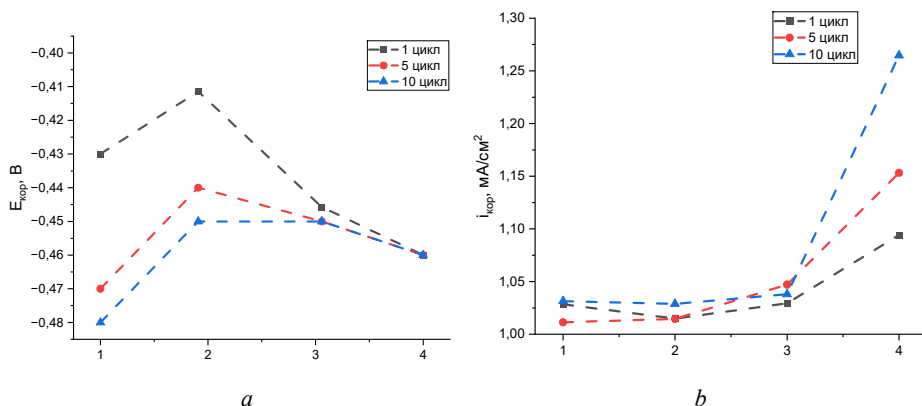
Як видно з табл. 2, легування АМС Co-Si-B 5 ат. % Fe приводить до зсуву потенціалу корозії в катодний бік та збільшення значень коефіцієнта перенесення заряду до 0,1 при поляризації електрода в катодний бік. Тобто спостерігається полегшення процесів відновлення порівняно з окиснювальними і з збільшенням часу поляризації (9-10 цикл).

Із табл. 2 видно, що легування АМС Co-Si-B 9 ат. % Cr не змінює потенціалу корозії, тобто він залишається сталим. Що свідчить про високу електрохімічну стабільність АМС-електрода. Також варто звернути увагу, що значення струмів корозії практично стабільне 10–20 мкА/см<sup>2</sup>, це свідчить про хорошу корозійну тривкість цього аморфного сплаву.

З табл. 2 видно, що десятиразова циклічна поляризація електрода призводить до зміни густини струму корозії в межах від 40 до 100 мкА/см<sup>2</sup>, що свідчить про зміну стану поверхні електрода, тобто на межі розчин/АМС-електрод концентрується різна кількість іонів. У цьому випадку потенціал корозії залишається практично незмінним.

Як видно із рис. 2,  $a$ , значення потенціалу корозії для Co<sub>77</sub>Si<sub>11</sub>B<sub>12</sub> та Co<sub>72</sub>Fe<sub>5</sub>Si<sub>11</sub>B<sub>12</sub> зростає внаслідок 1, 5 та 10 циклу сканування потенціалу. Тобто це свідчить про те, що АМС на основі кобальту володіє високою корозійною тривкістю через аморфну структуру, яка є анізотропною та в якій немає кристалічних утворень. Також варто зазначити, що легування АМС Co-Si-B 5 ат. % Fe приводить до зсуву потенціалу корозії в катодний бік, тобто відбувається полегшення процесів

відновлення порівняно з окиснювальними і з збільшенням часу поляризації (10 цикл).



**Рис. 2.** Залежність зміни: а) потенціалу корозії  $E_{\text{кор}}$ ; б) струму корозії  $i_{\text{кор}}$ , після 1, 5 та 10 циклу сканування потенціалу в межах  $-0,8...+0,4$  В у  $0,1$  М водному розчині HCl для 1 –  $\text{Co}_{77}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ; 2 –  $\text{Co}_{72}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ; 3 –  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ; 4 –  $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{4,5}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ .

**Fig. 2.** Change dependence: a – corrosion potential  $E_{\text{cor}}$ ; b – corrosion current  $i_{\text{cor}}$ , after 1, 5 and 10 cycle scanning potential within  $-0.8...+0.4$  V in  $0.1$  M aqueous solution HCl for 1 –  $\text{Co}_{77}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ; 2 –  $\text{Co}_{72}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ; 3 –  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ; 4 –  $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{4,5}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ .

Водночас на рис. 2, б зображено, що легування ферумом і хромом призводить до підвищення реакційної здатності ( $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{4,5}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$ ), що відображається в зростанні  $i_{\text{кор}}$  внаслідок 1, 5 та 10 циклу сканування потенціалу.

## Висновки

Електрохімічна активність АМС значною мірою залежить від складу та легування: введення Fe та Cr змінює електродні параметри, потенціал корозії та кінетику окисно-відновних процесів.

Наявність Cr у складі АМС забезпечує пасивацію поверхні через утворення оксидних плівок, які стабілізують структуру при анодній поляризації.

Комплексне дослідження параметрів Тафеля та складу дає підстави зробити висновок, що сплав  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  найстійкіший до корозії серед досліджених, а  $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{4,5}\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  – найменш стабільний у середовищі HCl.

## Подяка

Подані у цій статті результати досліджень отримано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (номер державної реєстрації держбюджетної теми: 0123U101830 «Нанокристалізація аморфних сплавів на основі кобальту: кінетика, властивості, застосування»).

This work was partly supported by the Simons Foundation (Award Number: 00014574).

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Chen F., Zhou J., Su C., Zhang C., Zhang H., Guo S.* Catalytic properties of Fe-based amorphous alloys with different Mo content after acid corrosion. *J. Non-Cryst. Solids*. 2024. Vol. 646. P. 123249. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrsol.2024.123249>.
2. *Yang X., Li W., Zhou J., Zhang W., Yan Y.* Development of non-equiatom Cu<sub>2</sub>Nb<sub>5.6</sub>Cr<sub>4</sub>Fe<sub>10</sub>Co<sub>2</sub>Ni<sub>5</sub> high-entropy amorphous alloy with excellent mechanical and corrosion performance. *Mater. Lett.* 2025. Vol. 396. P. 138739.
3. *Li X., Li Q., Zhang C., Jiang L., Zhang G., Chang C.* Development of Cr-based bulk metallic glass and amorphous alloy coatings via HVOF spraying with exceptional corrosion and wear resistance. *Surf. Coat. Technol.* 2025. Vol. 504. P. 132036. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2025.132036>.
4. *Inoue A., Zhang T., Masumoto T.* Recent development and application products of bulk glassy alloys. *Mater. Trans.* 2004. Vol. 45(4). P. 1145–1153. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2010.11.027>.
5. *Xu D., Duan G., Johnson W. L.* Unusual glass-forming ability of bulk amorphous alloys based on rare-earth metals. *Phys. Rev. Lett.* 2004. Vol. 92(24). P. 245504. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.92.245504>.
6. *Wang D.P., Wang S.L., Wang J.Q.* Relationship between amorphous structure and corrosion behaviour in a Zr–Ni metallic glass. *Corros. Sci.* 2012. Vol. 59. P. 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.02.017>.
7. *Gostin P.F., Gebert A., Schultz L.* Comparison of the corrosion of bulk amorphous steel with conventional steel. *Corros. Sci.* 2010. Vol. 52(1). P. 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.09.016>.
8. *Muftah W., Allport J., Vishnyakov V.* Corrosion performance and mechanical properties of FeCrSiNb amorphous equiatomic HEA thin film. *Surf. Coat. Technol.* 2021. Vol. 422. Article ID 127486. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127486>.
9. *Hashimoto K., Naka M., Asami K., Masumoto T.* The role of alloying elements in improving the corrosion resistance of amorphous iron base alloys. *Corros. Sci.* 1979. Vol. 19. P. 857–867. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(79\)80109-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(79)80109-2).
10. *Gao Z., Hua Y., Zhou C.Z. et al.* Effect of nanocrystallization and phase separation on corrosion behavior of Fe-based metallic glasses. *Appl. Surf. Sci.* 2025. Vol. 685. Article ID 162091.
11. *Zhang S., Wu C.L., Zhang C.H. et al.* Laser surface alloying of FeCoCrAlNi high-entropy alloy on 304 stainless steel. *Opt. Laser Technol.* 2016. Vol. 84. P. 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2016.04.011>.
12. *Kim J.-J., Choi Y., Suresh S., Argon A.S.* Nanocrystallization during nanoindentation of a bulk amorphous metal alloy. *Science*. 2002. Vol. 295(5555). P. 654–657. <https://doi.org/10.1126/science.1067453>.
13. *Nosenko V.K.* Amorphous and nanocrystalline alloys for instrument construction and energy-efficient technologies. *Visn. National Academy of Sciences of Ukraine*. 2015, No 4. P. 68–79. <https://doi.org/10.15407/visn2015.04.068>.
14. *Maria Lopachak, Lidia Boychyshyn.* Corrosion properties of amorphous cobalt-based alloys doped with Cr and Fe in a 0.3% sodium chloride solution. *Collection of scientific works: Ch. 2 / A. O. Omelchuk, R. Y. Gladyshevskiy, O. V. Reshetnyak (ed.). Lviv: DVC NTSh, 2018. P. 411–413.*
15. *Lopachak M., Boichyshyn L., Pandiak N., Nosenko V.* Chapter 30. Iron and Chromium Influence on Crystallization Kinetics of Cobalt-Based Amorphous Alloys. *Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructures, and Their Applications – Springer Cham*, 2024. Vol. 253. P. 443–452. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-67519-5\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67519-5_30).

## SUMMARY

*Tetyana BODNAR, Mariya LOPACHAK, Lidiya BOICHYSHYN***EFFECT OF CHROMIUM ALLOYING ON THE CORROSION RESISTANCE OF COBALT-BASED AMORPHOUS ALLOYS IN 0,1 M HCl**

*Ivan Franko National University of Lviv,  
Kyryla i Mefodia Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine  
e-mail: bodnar.tanya99@gmail.com*

Of particular note are Amorphous metal alloys (AMA) based on cobalt, which find application in the production of sensors, transformers, electron beam devices, as well as in electrocatalysis processes, including hydrogen evolution reactions. Therefore, it is necessary to investigate the effect of chromium alloying on the corrosion resistance of amorphous alloys based on cobalt in 0.1 M HCl. Because of it the purpose of the work is research aimed at studying the long-term stability of the passive state of AMA in HCl solution.

Important factors that can regulate corrosion resistance are surface modification and synthesis methods of AMC. In particular, modern methods such as acid etching, high-temperature deposition, mechanical alloying followed by ultra-high-pressure pressing allow optimizing the structure and morphology of alloys. As a result, a dense passive film is formed, resistant to  $\text{Cl}^-$  penetration and able to stabilize even under dynamic conditions. Therefore, AMCs have significant potential for use in biomedical implants, marine equipment, nuclear reactor parts, and chemical reactors. Their durability, high strength and chloride resistance ensure competitiveness with the best modern alloys.

To assess the influence of alloying applications on the electrochemical properties and the formation of protective layers of the AMA of the Co-TM-Si-B (TM = Fe, Cr) system in aggressive environments, the method of cyclic voltammetry in the potentiodynamic mode with automatic time sweep of the given potential of the metal surface according to the three-electrode scheme was used.

It was investigated that doping of AMA Co-Si-B 5 at. % Fe leads to a shift in the corrosion potential to the cathode side and an increase in the values of the charge transfer coefficient to 0.1 when the electrode is polarized to the cathode side. That is, there is an easing of reduction processes compared to oxidizing ones, with an increase in polarization time (cycle 10).

It was also found that doping of AMA Co-Si-B 9 at. % Cr does not change the corrosion potential, meaning it remains constant. Which indicates the high electrochemical stability of the AMA electrode. It is also worth noting that the values of corrosion currents are practically stable at  $10\text{--}20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , which indicates a good corrosion resistance of this amorphous alloy. It follows that the electrochemical activity of AMA is largely dependent on composition and doping: the introduction of Fe and Cr changes electrode parameters, corrosion potential, and kinetics of redox processes.

A comprehensive study of Tafel parameters allows us to conclude that the  $\text{Co}_{68}\text{Cr}_9\text{Si}_{11}\text{B}_{12}$  alloy is the most resistant to corrosion among those studied.

*Keywords:* amorphous metal alloy, corrosion, cyclic voltammetry.

Стаття надійшла: 23.06.2025.  
Після доопрацювання: 16.07.2025.  
Прийнята до друку: 26.09.2025.