

М.О. Ковбуз¹, О.М. Герцик¹, Т.Г. Переверзєва¹, С.Є. Шурко¹,
Н.Л. Пандяк², Х.В. Процишин³

ВПЛИВ СКЛАДУ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА КОРОЗІЙНУ ТРИВКІСТЬ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ АМОРФНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ Fe

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 6, Львів, 79005, Україна, E-mail: djunjer1@gmail.com

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

³ Медичний коледж Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького
вул. Судова, 7, Львів, 79016, Україна

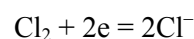
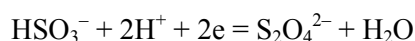
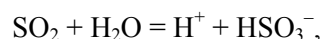
Електрохімічними методами оцінено корозійну тривкість ряду аморфних сплавів $Fe_{78,5}Ni_{1,0}Mo_{0,5}Si_{6,0}B_{14,0}$, $Fe_{65,58}Mo_{4,69}Cr_{7,92}P_{6,93}Si_{2,85}B_{5,94}$, $Fe_{55}Ni_{20,28}Cr_{7,04}Mo_{1,61}V_{1,07}B_{6,56}Al_{2,67}Si_{1,07}$ в агресивних середовищах H_2O , HCl , $NaOH$, $NaCl$, $(NH_4)_2SO_4$. Показано, що в таких умовах аморфні зразки характеризуються вищою корозійною тривкістю у порівнянні з кристалічними сталями і під час витримування протягом 24 діб зразки аморфних сплавів пасивуються.

Ключові слова: аморфні сплави на основі Fe, хімічний опір, корозійна тривкість

ВСТУП

Підвищення вимог до продуктивності та довготривалості роботи, зокрема, машин, вимагає спільного розгляду впливу як агресивних хімічних середовищ, так і циклічних механічних навантажень. Дія цих двох основних факторів приводить до виходу з ладу близько 70 відсотків механізмів, з яких 20–25 % спричинені робочими перевантаженнями, викликаними втратою корозійної тривкості [1–3]. Незважаючи на достатню кількість експериментальних та теоретичних досліджень впливу робочих агресивних середовищ (склад ґрунтів, природа стічних вод та органічні добрива), прогнозування експлуатаційної витривалості машин складне в умовах постійної зміни хімічного складу ґрунтів. Як відомо [4, 5], зміцненню корозійної тривкості, а також зносостійкості сприяють різні поверхневі покриття, що мають вищі корозійні і міцнісні характеристики. Зокрема, до таких належать тонкошарові покриття аморфними металічними сплавами [6, 7], що мають універсальну захисну дію: високу корозійну тривкість та механічну міцність. Нанесення таких шарів може здійснюватися різними шляхами, зокрема, електрохімічними методами [8] та напиленням [9].

Аналіз механізмів атмосферної корозії сплавів на основі Fe в агресивних середовищах свідчить, що даний процес переважно відбувається за змішаним катодно-анодно омичним контролем. Факторами впливу на атмосферну корозію можуть бути вологість, агресивні хімічні домішки: SO_2 , SO_3 , CO_2 , H_2S , NH_3 , Cl_2 , HCl , тверді частинки, які сприяють адсорбції вологи та газів, а також географічний фактор [10]. Величина критичної вологості, при якій розвивається швидка атмосферна корозія, відповідає завершенню формування суцільної плівки конденсованої води. Агресивні домішки, розчиняючись у водній плівці, підвищують її електропровідність і гігроскопічність продуктів корозії. Вони можуть стимулювати депасивацію поверхні (HCl , SO_2), бути комплексоутворювачами (NH_3) і катодними деполяризаторами (SO_2 , Cl_2):



Дослідження корозійної тривкості сталей різних марок як низьколегованих, так і високолегованих в міндобривах, привело до висновку, що вуглецеві сталі є менш

корозійно тривкими. Це пояснюється зростанням гетерогенності поверхні та виникненням гальванічних пар, активуючих окиснювальні процеси [10].

Деталі машин повинні бути стійкими до циклічних температурних змін у процесі експлуатації. Відомо, що попередня низькотемпературна обробка ($T = 77$ К) зразків аморфних сплавів на основі Fe, а саме $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$, не викликає зміни структури та елементного складу їх поверхні, а, навпаки, сприяє зниженню здатності розчинятися в 0.5 М водних розчинах HCl та КОН у зв'язку з ущільненням захисних оксидних покривів [11].

Аморфні і нанокристалізовані сплави на основі Fe перевищують фізичні характеристики трансформаторної сталі і пермалоїв. Заміна малогабаритних блоків із традиційних матеріалів на високоміцнісні аморфні дозволить зменшити габарити виробів та їх зносостійкість, що зумовить економію металу. Отже, суттєвою є оцінка корозійної тривкості аморфних сплавів на основі Fe в агресивних середовищах, що містять хлориди, кислоти і луги.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктами дослідження вибрано складнолеговані аморфні сплави (АМС) на основі Fe різної форми (стрічка, брусок). Стрічка товщиною 20–30 мкм і шириною 10 мм, для якої розрізняли контактний (к) та зовнішній (з) бік. Брусок товщиною 0.5 см, шириною 0.9–1.0 см. Елементний склад вихідних зразків АМС: $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$ (17/3), $Fe_{65.58}Mo_{4.69}Cr_{7.92}P_{6.93}Si_{2.85}B_{5.94}$ (НВРС-2); $Fe_{55}Ni_{20.28}Cr_{7.04}Mo_{1.61}V_{1.07}B_{6.56}Al_{2.67}Si_{1.07}$ (NHRP-1). Вихідні стрічкові зразки отримані методом надшвидкого гартування розплаву (10^6 К/с) на обертовому мідному барабані, об'ємні зразки (бруски) одержували при швидкості охолодження 10^1 – 10^2 К/с в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (Київ).

Дослідження впливу складу середовища (дистильована H_2O (рН 6.2), 0.5 М розчини HCl, NaOH, NaCl, насичений розчин $(NH_4)_2SO_4$) на величину потенціалу АМС – електрода на певному проміжку часу у відсутності зовнішньої напруги реєструвалися потенціостатом ПИ-50-1. Оцінка зміни

корозійної тривкості АМС у агресивних середовищах з додатковим навантаженням в умовах зміни потенціалу проводилась також методом циклічної вольтамперометрії в потенціодинамічному режимі з автоматичною часовою розгорткою заданого потенціалу поверхні металу в межах $(-1.5 \div 1.0)$ В. Вимірювання проводились за триелектродною схемою: робочий електрод – зразок АМС ($s = 0.15$ см²), срібно-хлоридний електрод порівняння та допоміжний електрод – платинова пластинка ($s = 2.0$ см²) з використанням потенціостата ЕР-20А. Параметри електрохімічної корозії: струм корозії ($i_{кор}$) і потенціал корозії ($E_{кор}$) визначали на основі напівлогарифмічних вольтамперограм.

Перерахунок величин густини струму на масу продуктів окиснення проводили за формулою:

$$K_m = i_{кор} k A / n F,$$

де $i_{кор}$ – струм корозії, А/см²; k – коефіцієнт ($k = 1$, коли час вимірювання в с, а площі в см²), A – атомна маса металу (оскільки базовим металом сталей та досліджуваних аморфних сплавів є Fe, то за величину атомної маси прийнято $A = 56$), n – число валентних електронів Fe = 2 або 3, F – число Фарадея [12].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Вольтамперометричне порівняльне дослідження корозійної тривкості зразків сталей [9] і стрічкових аморфних сплавів у дистильованій воді та насиченому розчині амоній сульфату впродовж 24 діб (табл. 1, рис. 1) показало, що швидкість корозії у випадку сталей має вищі значення. Триваліше перебування в агресивних середовищах як сталевих, так і стрічкових аморфних зразків зумовлює зниження і, практично, стабілізацію корозійних процесів. Однак зразки аморфних сплавів характеризуються на 2 порядки нижчими значеннями швидкості корозії. Додатки мінеральних солей, таких як сульфат амонію, дещо знижують хімічний опір зразків. Однак, різниця швидкостей корозії між сталями і стрічковими аморфними сплавами зберігається. Відомо, що мінеральні добрива, хлоридна кислота, кухонна сіль, луг і т.п. у водних розчинах виявляють високу корозійну активність до

сталей, що застосовуються і в сільськогосподарських пристроях [13–17].

Потенціометричний контроль окисно-відновних поверхневих процесів зразків аморфного сплаву $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$ у воді та 0.5 М водному розчині NaOH (табл. 2)

після витримування у корозійних середовищах вказує на незначну зміну корозійної тривкості, що відображається зсувом потенціалів на 0.08–0.15 В, причому більша зміна корозійної тривкості спостерігається у лужному середовищі.

Таблиця 1. Швидкість корозії (K_m) зразків сталей і стрічкових аморфних сплавів у різних агресивних середовищах ($T = 298$ К)

Матеріал	$K_m \cdot 10^6, \text{г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$							
	Вода дистильована				$(NH_4)_2SO_4$, насичений розчин			
	1 доба	6 діб	12 діб	24 доби	1 доба	6 діб	12 діб	24 доби
Сталь 20 [9]	11.7	6.71	7.00	6.40	26.6	15.8	13.7	15.2
Сталь 3 [9]	12.5	7.00	8.10	7.91	35.7	22.3	24.6	22.3
НВРС-2	0.45	0.23	0.21	0.20	0.32	0.38	0.39	0.32
NHRP-1	0.21	0.27	0.24	0.24	0.47	0.46	0.38	0.36
АМС 17/3	0.22	0.29	0.26	0.25	0.53	0.55	0.51	0.49

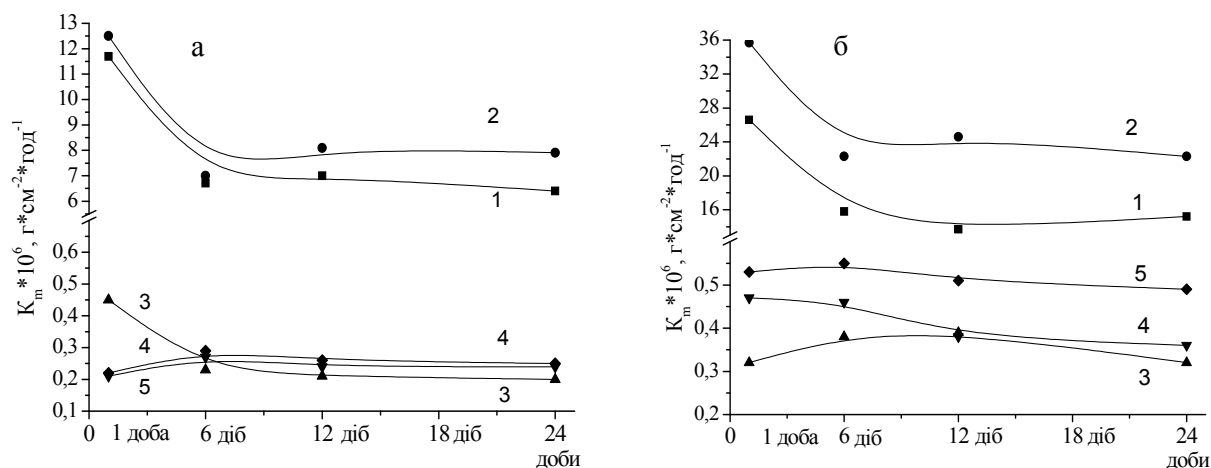
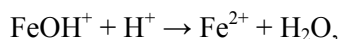
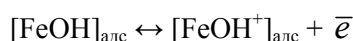


Рис. 1. Залежність швидкості корозії (K_m) зразків сталей: 1 – Сталь 20; 2 – Сталь 3, і стрічкових аморфних металевих сплавів: 3 – НВРС-2; 4 – NHRP-1; 5 – АМС 17/3, від тривалості перебування у дистильованій воді (а) та насиченому розчині $(NH_4)_2SO_4$ (б)

Відомо [18], що результатом першої стадії взаємодії Феруму з водними розчинами є утворення поверхневих гідроксидів:

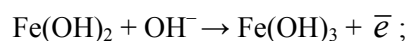
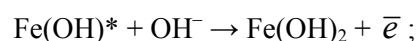
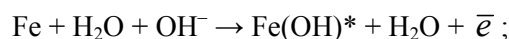


які вступають в дальші перетворення і йонізуються:

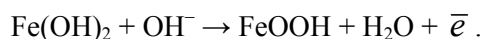


Характер утворених продуктів залежить від типу водного розчину, в якому знаходиться сплав на основі Fe. В розчинах

лугів утворюються вторинні нерозчинні продукти корозії Fe – оксиди і гідроксиди Феруму, які мають хороше зчеплення з поверхнею металу і захищають її від корозії. Лужне середовище обмежує коло продуктів корозії металів підгрупи Феруму до оксидів Me_nO_m , гідроксидів $Me(OH)_m$ і оксигідроксидів $MeOOH$:



сумарно:



Контроль корозійної тривкості зразків аморфного сплаву $\text{Fe}_{78.5}\text{Ni}_{1.0}\text{Mo}_{0.5}\text{Si}_{6.0}\text{B}_{14.0}$ в еталонному 0.5 М водному розчині NaCl хронопотенціометричним методом (табл. 3) після попереднього витримування зразків у воді та 0.5 М водному розчині NaOH вказує

на незначне зниження корозійної тривкості, що відображається зсувом потенціалів на 0.01–0.08 В у катодний бік.

Аналогічні дослідження сплаву $\text{Fe}_{65.58}\text{Mo}_{4.69}\text{Cr}_{7.92}\text{P}_{6.93}\text{Si}_{2.85}\text{B}_{5.94}$ (табл. 4) підтверджують високу корозійну тривкість аморфних зразків, легованих Cr, і навіть її підвищення в результаті попереднього витримування в хлоридній кислоті.

Таблиця 2. Результати хронопотенціометрії зразків АМС після попереднього тривалого контакту з дистильованою водою або 0.5 М водним розчином NaOH, $T = 293 \text{ K}$

Тривалість витримування, діб	$\text{Fe}_{78.5}\text{Ni}_{1.0}\text{Mo}_{0.5}\text{Si}_{6.0}\text{B}_{14.0}$				$\text{Fe}_{65.58}\text{Mo}_{4.69}\text{Cr}_{7.92}\text{P}_{6.93}\text{Si}_{2.85}\text{B}_{5.94}$			
	E_0 , В	E_K , В	$ \Delta E $, В	$v_{60} \cdot 10^4$, В/с	E_0 , В	E_K , В	$ \Delta E $, В	$v_{60} \cdot 10^4$, В/с
Дистильована H_2O								
–	–0.48	–0.63	0.15	13.3	0.07	0.04	0.03	3.5
1	–0.56	–0.62	0.06	8.3	0.09	0.06	0.03	1.6
3	–0.51	–0.59	0.08	5.8	0.05	0.06	0.01	2.8
5	–0.54	–0.64	0.10	8.3	–0.05	–0.03	0.02	1.6
0.5 М NaOH								
–	–0.30	–0.44	0.14	1.6	–0.18	–0.40	0.22	23.3
1	–0.60	–0.61	0.001	1.6	–0.31	–0.32	0.001	0.1
3	–0.61	–0.57	0.04	1.6	–0.36	–0.40	0.04	5.5
5	–0.55	–0.44	0.11	0.6	–0.33	–0.36	0.03	1.6

$|\Delta E|$ – зміна потенціалу поверхні

Таблиця 3. Результати хронопотенціометричного дослідження зразків 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 при $T = 293 \text{ K}$ після попереднього витримування у дистильованій воді (рН 6.2) та 0.5 М водному розчині NaOH

Тривалість витримування, доби	Бік	E_0 , В	E_K , В	$ \Delta E $, В	$v_{60} \cdot 10^4$, В/с
–	к	–0.56	–0.59	0.03	1.66
	з	–0.51	–0.62	0.11	10.83
Дистильована H_2O					
1	к	–0.56	–0.64	0.08	8.33
	з	–0.51	–0.60	0.09	11.6
5	к	–0.53	–0.61	0.80	5
	з	–0.42	–0.57	0.15	15
0.5 М NaOH					
1	к	–0.50	–0.67	0.17	3.33
	з	–0.54	–0.67	0.13	13.3
5	к	–0.48	–0.65	0.17	8.3
	з	–0.42	–0.64	0.22	13

Таблиця 4. Результати хронопотенціометрії зразків АМС $Fe_{65.58}Mo_{4.69}Cr_{7.92}P_{6.93}Si_{2.85}B_{5.94}$ у 0.5 М водному розчині NaCl при $T = 293$ К після попереднього витримування у дистильованій воді (рН 6.2) та 0.5 М водних розчинах NaOH та HCl

Тривалість витримування, діб	Бік	$E_0, В$	$E_{кз}, В$	$\Delta E, В$	$v_{60} \cdot 10^4, В/с$
–	к	0.42	0.44	0.02	1.6
	з	–0.22	–0.43	0.21	18.3
Дистильована H_2O					
1	к	0.03	–0.26	0.29	30.8
	з	–0.52	–0.48	0.04	3.3
5	к	–0.03	–0.27	0.24	5.2
	з	–0.50	–0.49	0.01	6.7
0.5 М NaOH					
1	к	–0.28	–0.35	0.07	5.1
	з	–0.32	–0.13	0.19	1.6
5	к	–0.13	–0.14	0.01	5.2
	з	–0.34	–0.43	0.09	5.1
0.5 М HCl					
1	к	0.15	–0.12	0.03	5.1
	з	–0.05	–0.25	0.20	6.6
5	к	0.036	–0.27	0.31	15.7
	з	–0.002	–0.29	0.29	14.2

Практичне використання аморфних сплавів передбачає їх контакт з агресивними середовищами при різних температурах. Оцінені корозійні зміни стрічкових та об'ємних зразків НВРС-2 і NHRP-1 у 0.5 М NaCl при температурі 0.5 М водного розчину NaCl 291–303 К (рис. 2, 3).

Значення потенціалу електрода об'ємного зразка сплаву марки НВРС-2 (рис. 2 а, крива 1) коливається в межах 0.05 В. Внаслідок підвищення температури корозійного середовища до 298...303 К значення потенціалів електрода зсуваються від –0.15 до –0.10 В, що зумовлено інтенсифікацією процесів розчинення об'ємних електродів (рис. 2 а, криві 2, 3). Стрічковий сплав марки НВРС-2 виявляє вищу активність у 0.5 М водному розчині NaCl. Зокрема, початкове значення потенціалу стрічкового електрода НВРС-2 становить –0.37 В. Однак підвищення температури розчину зумовлює його зсув у анодний бік; при температурі агресивного середовища 303 К потенціал становить –0.27 В.

Підвищення температури агресивного середовища приводить до зменшення швидкості стабілізації значення потенціалу електродів. Об'ємні зразки електродів

набувають від'ємніших значень як початкових потенціалів, які лежать в межах –0.04 – –0.06 В, так і стабільних, значення яких становлять від +0.037 до –0.18 В. Значно активніші в 0.5 М водному розчині NaCl стрічкові сплави, стабільні значення потенціалу яких становлять –0.27, –0.87 В, тобто стрічкові сплави характеризуються від'ємнішими значеннями електродного потенціалу. Зокрема, стабільне значення електродного потенціалу сплаву марки НВРС-2 становить від –0.33 до –0.27 В; підвищення температури розчину приводить до зміщення потенціалу на 0.06 В в анодний бік. Значно нижчі потенціали стрічкових електродів сплаву марки NHRP-1, їх значення становлять –0.50; –0.87 В і зсуваються в катодний бік із підвищенням температури розчину NaCl. Потенціометричні характеристики об'ємних сплавів вказують на високі захисні властивості сформованих у процесі синтезу поверхневих шарів, що зумовлює більші значення електродних потенціалів та у 10 разів нижчу початкову швидкість окиснення у порівнянні із стрічковими аналогами.

Твердість сталі 20 дорівнює 16.3 МПа, що приблизно на 2–3 порядки нижча за твердість аморфних сплавів. У випадку АМС НВРС – 4,

$H_v = 12.8$ ГПа, а NHRP-1 – 9.44 ГПа. Перевірено також вплив низькотемпературної експозиції (77 К) на мікротвердість АМС 17/3 (табл. 5).

Внаслідок низькотемпературної модифікації поверхневі шари АМС ущільнюються і їхня мікротвердість стає стабільно високою.

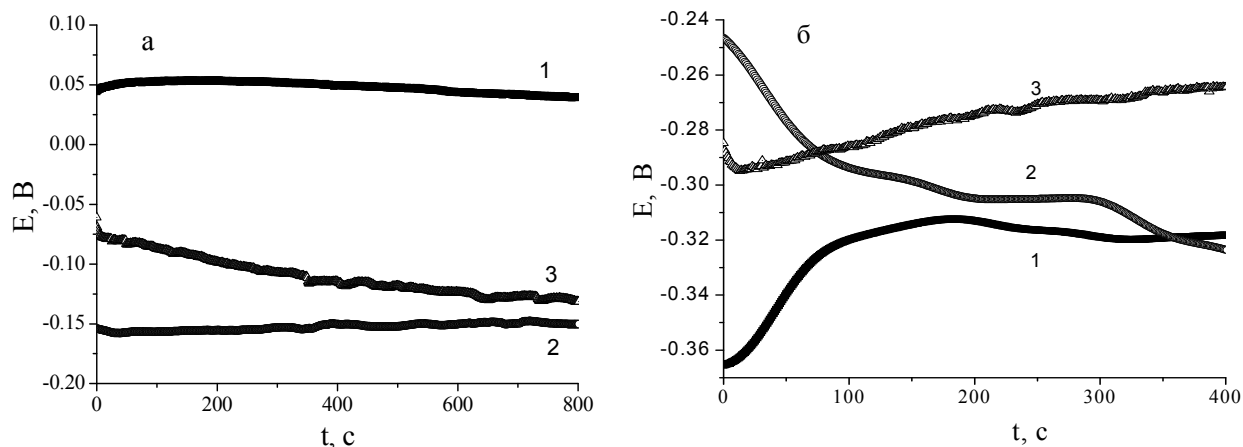


Рис. 2. Хронопотенціометричні криві зміни вільного потенціалу поверхні об'ємних (а) та стрічкових (б) зразків аморфного сплаву на основі Fe марки НВРС-2 при різних температурах у 0.5 М водному розчині NaCl: 1 – 291, 2 – 298, 3 – 303 К

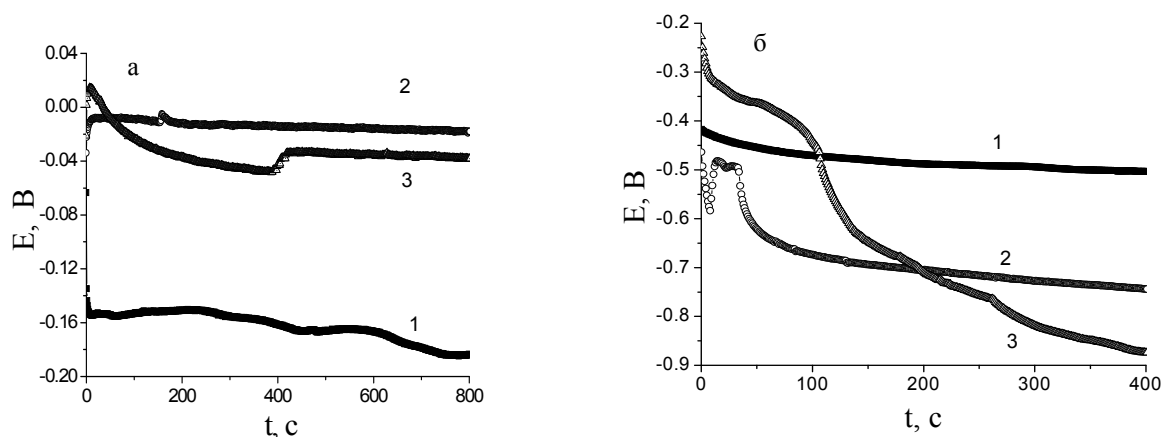


Рис. 3. Хронопотенціометричні криві зміни вільного потенціалу поверхні об'ємних (а) та стрічкових (б) зразків аморфного сплаву на основі Fe марки NHRP-1 при різних температурах у 0.5 М водному розчині NaCl: 1 – 291, 2 – 298, 3 – 303 К

Таблиця 5. Значення мікротвердості (H_v , ГПа) зразка $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$ після низькотемпературної ($T = 77$ К) експозиції

Тривалість експозиції, год	0	0.5	1.0	2.0	3.0
H_v , ГПа	10.0	11.7	11.5	11.7	11.3

Отже, висока корозійна тривкість досліджених аморфних матеріалів різного елементного складу та форми, особливо у кислотних і хлоридних середовищах, та висока твердість визначають їхню

перспективність для захисту деталей машин, що працюють у агресивному середовищі.

Враховуючи високу антикорозійну тривкість, можна рекомендувати лазерні покриття (ламінівання) аморфними сплавами

деталей с/г машин, які контактують безпосередньо з агресивними середовищами різної природи і рН [19–21]. Ріжучі поверхні при цьому не затуплюються і не кордують. Це стосується також лісової промисловості, різання торфу, перемелювання сміття, а також застосовується в оборонній промисловості.

ВИСНОВКИ

Хронопотенціометрично досліджено антикорозійну тривкість у дистильованій воді та агресивних середовищах при 291, 298, 303 К багатоконпонентних аморфних сплавів на основі Fe: $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$, $Fe_{65.58}Mo_{4.69}Cr_{7.92}P_{6.93}Si_{2.85}B_{5.94}$, $Fe_{55}Ni_{20.28}Cr_{7.04}Mo_{1.61}V_{1.07}B_{6.56}Al_{2.67}Si_{1.07}$.

Аморфні сплави проявляють порівняно із сталями 20 і 3 помітно вищу тривкість (в 10 разів) до окиснення як у дистильованій воді, так і у розчинах: насиченому $(NH_4)_2SO_4$, 0.5 М NaOH та 0.5 М HCl, що засвідчують результати довготривалих (1–24 доби) спостережень зміни поверхневого потенціалу.

Внаслідок повільнішого охолодження у атмосфері повітря об'ємних зразків (10^2 – 10^3 К/хв) від стрічкових (10^4 – 10^6 К/хв) на поверхні об'ємних формуються щільніші оксидні шари, що забезпечують їх вищу антикорозійну тривкість.

Мікротвердість аморфних сплавів перевищує мікротвердість сталей на 4–5 порядків, особливо після попередньої низькотемпературної модифікації.

Влияние состава агрессивной среды на коррозионную стойкость многокомпонентных аморфных сплавов на основе Fe

М.А. Ковбуз, О.М. Герцик, Т.Г. Переверзева, С.Е. Шурко, Н.Л. Пандяк, К.В. Процишын

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия, 6, Львов, 79005, Украина, djunjer1@gmail.com*

*Национальный лесотехнический университет Украины
ул. Генерала Чупринки, 103, Львов, 79057, Украина*

*Медицинский колледж Львовского национального медицинского университета имени Данила Галицкого
ул. Судовая, 7, Львов, 79016, Украина*

Электрохимическими методами оценена коррозионная стойкость ряда аморфных сплавов $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$, $Fe_{65.58}Mo_{4.69}Cr_{7.92}P_{6.93}Si_{2.85}B_{5.94}$, $Fe_{55}Ni_{20.28}Cr_{7.04}Mo_{1.61}V_{1.07}B_{6.56}Al_{2.67}Si_{1.07}$ в агрессивных средах H_2O , HCl, NaOH, NaCl, $(NH_4)_2SO_4$. Показано, что в таких условиях аморфные образцы характеризуются высокой коррозионной прочностью по сравнению с кристаллическими сталями и во время выдержки в течение 24 суток образцы аморфных сплавов пассивируются.

Ключевые слова: аморфные сплавы на основе железа, химическое сопротивление, коррозионная стойкость

Influence of aggressive environment on corrosion resistance of multicomponent Fe amorphous alloys

M.A. Kovbuz, O.M. Hertsyk, T.G. Pereverzieva, S.Ye. Shurko, N.L. Pandiak, K.V. Protsyshyn

Ivan Franko National University of Lviv
6 Kyryla & Mefodiya Str., Lviv, 79005, Ukraine, djunjer1@gmail.com
Ukrainian National Forestry University
103 General Chuprynka Str., Lviv, 79057, Ukraine
Medical college of Danylo Halytsky Lviv National Medical University
7 Sudova Str., Lviv, 79016, Ukraine

Electrochemical methods (potentiometry and voltammetry) used to evaluate the corrosion resistance of the amorphous metallic alloys (AMA) based on iron: $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$, $Fe_{65.58}Mo_{4.69}Cr_{7.92}P_{6.93}Si_{2.85}B_{5.94}$, $Fe_{55}Ni_{20.28}Cr_{7.04}Mo_{1.61}V_{1.07}B_{6.56}Al_{2.67}Si_{1.07}$ in aggressive media of distilled H_2O , 0.5 M solutions of HCl, NaOH, NaCl and saturated solution of $(NH_4)_2SO_4$ at 291, 298, 303 K. Under such conditions amorphous samples are characterized by high corrosion resistance in comparison with crystalline steel and during the exposure for 24 days samples of amorphous alloys are passivated. Due to the slower cooling rate for the bulk samples (10^2 – 10^3 K/min) compared the tape (10^4 – 10^6 K/min) the dense oxide layers are formed on the surface of the bulk amorphous alloys, providing them the highest corrosion resistance.

The microhardness of amorphous alloys exceeded the microhardness of steels in 4–5 times, especially after the previous low-temperature modification. After cooling at low temperatures the surface layers of the AMA are sealed.

Considering the high corrosion resistance we recommend amorphous alloys for laser coatings (lamination) of agricultural machines, which contact with different aggressive media. They also can be applied to the forest industry, the peat cutting, the grinding of garbage, and also to the military industry.

Keywords: amorphous alloys based on Fe, chemical resistance, corrosion resistance

ЛІТЕРАТУРА

1. Севернев М.М., Подлекарев Н.Н., Сохадзе В.Ш. и др. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин. – Минск: Беларус. наука, 2011. – 333 с.
2. Корнієнко С., Корбутяк О. Проблеми впливу ґрунтового середовища на корозію магістральних газопроводів України // Вісник Київського нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. – 2009. – № 46. – С. 42–43.
3. Хома М.С., Архипов О.Г. Развитие электрохимических методов коррозионного мониторинга оборудования химической та нефтепереработной промышленности // Фіз.-хім. механ. матеріалів. Спец. вип. – 2010. – Т. 2, № 8. – С. 543–548.
4. Мальцева Г.Н. Электрохимические и химические процессы коррозии. Учеб. Пособие. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2004. – 116 с.
5. Михайлович Я., Романюк О., Рубець А. та ін. Проблема зберігання сільськогосподарської техніки // Пропозиція. – 2007. – № 10. – С. 102–104.
6. Lukina G.N., Bolshakov M.V., Pidhaichuk S.Ya. Properties of magnetron coating on the Fe-Cr-Ni-base with amorphous structure // Paton Welding Journal. – 2002. – № 4. – P. 31–35.
7. U.S. Patent 14/855028. Agricultural blades and machine parts with amorphous metal laser cladding / Stoffel N.J., Placek C., Johnson K.A., Baez H. – Оpubл. 2015.
8. Naploszek-Bilnik I., Budniok A. Отрымуwanie i termiczna modyfikacja warstw kompozytowych Ni+Al // Композиты. – 2002. – V. 2. – P. 52–57.
9. Ковришкін М.О. Методи формування покриттів на різальному інструменті // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2010. – Вип. 23. – С. 344–351.
10. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. – Москва: Изд-во АН СССР, 1961. – 372 с.
11. Переверзева Т.Г. Модифікація поверхні аморфних металевих сплавів на основі Феруму: автореф. дис. ...канд. хіміч. наук: 02.00.04 / Львівський національний університет імені Івана Франка. – Львів, 2016. – 20 с.

12. Popovych P.V., Slobodyan Z.B. Corrosion and electrochemical behaviors of 20 steel and st. 3 steel in ammonium sulfate and nitrophoska // *Materials Science*. – 2014. – V. 49, N 6. – P. 819–826.
13. Киш Л.М. Кинетика электрохимического растворения металлов. – Москва: Наука, 1990. – 295 с.
14. Маклецов В.Г., Забильский В.В., Никонова Р.М. и др. Влияние температуры закалки на электрохимическое поведение стали ШХ15 в кислых сульфатных растворах // *Электрохимия*. – 2001. – Т. 37, № 3. – С. 378–381.
15. Маклецов В.Г., Зикратова О.А. Влияние аниона и старения на коррозионное поведение стали Н18 и Н18ЕЗ // *Вестн. Удм. ун-та. Сер. Химия*. – 2005. – С. 23–34.
16. Маклецов В.Г., Канунникова О.М. Влияние естественного старения быстрозакаленных аморфных сплавов Fe₇₅-Si₁₂-B₁₀-Nb₁-Cu₂ на коррозионное поведение в кислых сульфатных средах // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 1–6.
17. Попович П.В., Цьонь О.П., Довбуш Т.А. Вплив експлуатаційних середовищ на поширення поверхневих корозійно-втомних тріщин в елементах конструкцій сільськогосподарських машин // *Вісник ТНТУ*. – 2014. – Т. 75, № 3. – С. 157–166.
18. Стрюков А.В., Галушко А.С., Рябухин А.Г. и др. Электрохимическое поведение аморфных сплавов на основе железа и кобальта в щелочном электролите // *Вестник ЮУрГУ, Серия хим.* – 2012. – Вып. 10. – С. 45–51.
19. Попович П., Хомик Н., Добровольська Л. Залишковий ресурс тонкостінних конструктивних елементів несучих систем сільськогосподарських машин при дії агресивних середовищ // *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. – 2014. – Вип. 146. – С. 142–150.
20. *U.S. Patent 20120186733 A1*. Amorphous alloys armor / A. Croopnick G.A. – 2012.
21. Petrzehik M.I., Vakaev P.V., Chueva T.R. et al. From Bulk Metallic Glasses to Amorphous Metallic Coatings // *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*. – 2005. – V. 24–25. – P. 101–104.

REFERENCES

1. Severnev M.M., Podlekarev N.N., Sokhadze V.Sh., Kitikov V.O. *Erosion and corrosion of agricultural machinery*. (Minsk: Belarus. Nauka, 2011). [in Russian].
2. Korniyenko S., Korbutyak S. The problems of soil environment impact on corrosion of gas main in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University in Kyiv*. 2009. **46**: 42. [in Ukrainian].
3. Khoma M.S., Arkhypov O.G. Development of electrochemical methods of corrosion monitoring for the chemical and petrochemical equipment. *Fiz.-Chem. Mekhan. Materialiv*. 2010. **2**(8): 543. [in Ukrainian].
4. Mal'tseva G.H. *Electrochemical and chemical corrosion processes*. (Penza: Penza State University, 2004). [in Russian].
5. Mykhailovych Ya., Romanyuk O., Rubets' A., Zasun'ko A. The problem of agricultural machinery storage. *Propozytsiya*. 2007. **10**: 102. [in Ukrainian].
6. Lukina G.N., Bolshakov M.V., Pidhaichuk S.Ya. Properties of magnetron coating on the Fe-Cr-Ni-base with amorphous structure. *Paton Welding Journal*. 2002. **4**: 31.
7. Patent US 14/855028. Stoffel N.J., Placek C., Johnson K.A., Baez H. Agricultural blades and machine parts with amorphous metal laser cladding. 2015.
8. Naploszek-Bilnik I., Budniok A. Otrymywanie i termiczna modyfikacja warstw kompozytowych Ni+Al. *Kompozyty*. 2002. **2**: 52.
9. Kovryshkin M.O. Methods of forming coatings for cutting tools. *Machinery in agriculture, industrial engineering, automatization*. 2010. **23**: 344. [in Ukrainian].
10. Rozenfel'd I.L. *Atmosphere corrosion of metals*. (Moscow: Nauka, 1961). [in Russian].
11. Pereverzieva T.G. Ph.D (Chem.) Thesis. (Lviv, 2016). [in Ukrainian].
12. Popovych P.V., Slobodyan Z.B. Corrosion and electrochemical behaviors of 20 steel and st. 3 steel in ammonium sulfate and nitrophoska. *Mat. Sci*. 2014. **49**(6): 819.
13. Kysh L.M. *Kinetics of electrochemical dissolution of metals*. (Moscow: Nauka, 1990). [in Russian].
14. Makletsov V.G., Zabil'skii V.V., Nikonova R.M., Busygin A.V. Electrochemical behavior of steel ShKh15 in acid sulfate solutions as a function of the quenching temperature. *Russ. J. Electrochem*. 2001. **37**(3): 330.
15. Makletsov V.G., Zikratova O.A. Influence of anions and aging on corrosion behaviour of steels H18 and H18T3. *Bulletin of Udmurt University*. 2005. **1**: 23. [in Russian].
16. Makletsov V.G., Kanunnikova O.M. The effect of natural ageing of quickly quenched amorphous Fe₇₅Si₁₂B₁₀Nb₁Cu₂ alloys on their corrosion behavior sin acidic sulfate environments. *Prot. Met. Phys. Chem*. 2009. **45**(3): 353.

17. Popovich P.V., Tson O.P., Dovbush T.A. Impact of operation medium on the propagation of the surface corrosion fatigue cracks in the agricultural mashines structural elements. *Bulletin of TNTU*. 2014. **75**(3): 157. [in Ukrainian].
18. Strukov A.V., Galushko A.S., Ryabukhin A.G., Sharlay E.V., Roschin A.V. Electrochemical behavior of amorphous alloys based upon iron and cobalt in alkaline electrolyte. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Chemistry"*. 2012. **10**(36): 45. [in Russian].
19. Popovych P., Khomyk N., Dobrovolska L. Operating-life of thin-walled structural elements of bearings systems of agricultural machines under loading and corrosive environment. *Bulletin of KhNTU*. 2014. **146**: 142. [in Ukrainian].
20. Patent US 20120186733 A1. Croopnick G.A. Amorphous alloys armor. 2012.
21. Petrzhik M.I., Vakaev P.V., Chueva T.R., Vakaev P.V. From Bulk Metallic Glasses to Amorphous Metallic Coatings. *J. Metastab. Nanocryst. Mater.* 2005. **24–25**: 101.

Надійшла 25.05.2017, прийнята 25.01.2018