

УДК:621.762

**А.М. Степанчук, Ю.Ю. Румянцева, О.А. Демиденко**  
*Національний технічний університет України "КПІ"*

### **ВПЛИВ СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ СПЛАВІВ ЗАЛІЗО–САМОФЛЮСІВНИЙ СПЛАВ НА ЇХ КОЗИЙНУ СТИЙКІСТЬ У РОЗЧИНАХ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ**

*Наведені результати дослідження корозійної стійкості порошкових матеріалів з композицій, які склалися з заліза та 15, 30, 40, 50 і 70 % високолегованого самофлюсівного сплаву в 2,5 і 30 % розчині сірчаної кислоти. Показано, що на корозійну стійкість впливає склад та структура матеріалу. Найбільшу корозійну стійкість мають композиції в структурі яких фаза самофлюсівного сплаву утворює суцільний каркас, корозія якого є лімітуючою стадією корозії матеріалу у цілому. Встановлено, що у контакті з розчинами сірчаної кислоти композиції з вмістом самофлюсівного сплаву 15 і 30 % відносяться до стійких, а з вмістом СФЗ більшим за 30 % до стійких і дуже стійких.*

*Ключові слова:* залізо, самофлюсівний сплав, структура, корозія, сірчана кислота, глибинний показник корозії.  
*Рис. 8; Табл. 2; Лит. 13.*

**А.Н. Степанчук, Ю.Ю. Румянцева, А.А. Демиденко**  
*Национальный технический университет Украины "КПИ"*

### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО-САМОФЛЮСУЮЩИЙСЯ СПЛАВ НА ИХ КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В РАСТВОРАХ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

*Приведены результаты исследования коррозионной стойкости порошковых материалов из композиций, которые состояли из железа и 15, 30, 40, 50 и 70 % высоколегированного самофлюсующегося сплава в 2,5 и 30 % растворе серной кислоты. Показано, что на коррозионную стойкость влияет состав и структура материала. Наибольшую коррозионную стойкость имеют композиции в структуре которых фаза самофлюсующегося сплава образует сплошной каркас, коррозия которого является лимитирующей стадией коррозии материала в целом. Определено, что в контакте с растворами серной кислоты композиции с содержанием самофлюсующегося сплава 15 и 30 % относятся к стойким, а с содержанием СФЗ более 30 % к стойким и очень стойким.*

*Ключевые слова:* железо, самофлюсующийся сплав, структура, коррозия, серная кислота, глубинный показатель скорости коррозии.

*Рис. 8; Табл. 2; Лит. 13.*

**A.N. Stepanchuk, Y.Y. Rumyantseva, A.A. Demydenko**  
*National Technical University of Ukraine "KPI"*

### **INFLUENCE OF COMPOSITION AND STRUCTURE OF IRON-SFA ALLOYS ON THEIR CORROSION RESISTANCE IN THE SULPHURIC ACID**

*There was determined deep mark of corrosion velocity of explored materials. There were shown the results of the research of corrosion resistance of powder materials of compositions which consist of iron and 15, 30, 40, 50, 70% of highly doped self-fluxing alloys in 2,5 and 30% sulfur acid solution. There was proposed mechanism of explored material corrosion, according to it, relative low corrosion resistance of compositions with SFA 15 and 30% caused by creating galvanic couples on border of the iron phase and SFA phase, which accelerates corrosion processes. Increasing SFA amount over 30% causes creation in the material solid SFA mesh, which is very consistent in acid solutions. The last one isolates iron phase from contacting with acid solution and determines material corrosion velocity at all. that in contact with 2,5 and 30% sulfur acid solutions compositions containing 15 and 30% SFA are consistent, but with SFA containing more than 30% are consistent and very consistent.*

*Keywords:* iron, self-fluxing alloys, structure, corrosion, sulfur acid, deep corrosion, velocity mark

*Fig. 8; Tabl. 2; Lit. 13.*

**Вступ.** Сучасна техніка ставить до властивостей конструкційних матеріалів високі вимоги (твердість, міцність, корозійна стійкість), зумовлені зростаючою інтенсивністю навантаження вузлів машин і механізмів та різноманіттям середовищ, в яких вони працюють. Наприклад, порошкові багатофункціональні матеріали, серед різноманіття галузей їх застосування, можуть бути використані для виготовлення деталей заглиблених насосів в гірничо– та нафтодобувній промисловості, які працюють в умовах абразивного зношування та дії агресивних розчинів кислот та лугів.

У цьому відношенні перспективними матеріалами для виготовлення деталей таких насосів, наприклад ущільнювачів, можуть бути використані композиції за участю самофлюсівних сплавів на основі нікелю (СФС) та заліза (СФЗ) [1–2], які можуть працювати як зносостійкі антифрикційні матеріали в умовах дії абразивів. Враховуючи те, що самофлюсівні сплави є високолегованими і вміщують елементи з високою корозійною стійкістю слід передбачити перспективу їх

використання у складі матеріалів, які працюють в умовах дії розчинів кислот та лугів. До таких матеріалів можуть бути віднесені композиції за участю порошків заліза та самофлюсівних сплавів. Дані про корозійну стійкість таких композицій в літературі практично відсутні. Тому, на нашу думку, з метою встановлення оптимального складу композицій та умов їх виготовлення, дослідження їх корозійної стійкості в розчинах кислот та лугів є досить актуальною задачею.

**Постановка задачі.** Задачею роботи є дослідження процесів взаємодії компактованих порошкових композицій з порошків заліза та самофлюсівних сплавів на основі заліза (СФЗ) з розчинами сірчаної кислоти з метою визначення їх корозійної стійкості залежно від складу, виявлення механізмів корозії та надання рекомендацій по отриманню матеріалів з наперед заданими характеристиками корозійної стійкості.

**Результати експериментальних досліджень.** В роботі досліджувались матеріали з композицій Fe-СФЗ з вмістом останнього 15, 30, 40, 50 та 70 % . Для вивчення впливу складу матеріалів на їх корозійну стійкість в розчинах сірчаної кислоти, отримували зразки з відносною щільністю 98–99% за умов встановлених в роботі в роботі [3]. Для визначення відносною корозійної стійкості також досліджувались зразки з заліза та самофлюсівного сплаву.

Хімічний склад вихідних матеріалів та усереднений розрахунковий елементний склад отриманих з них композицій наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

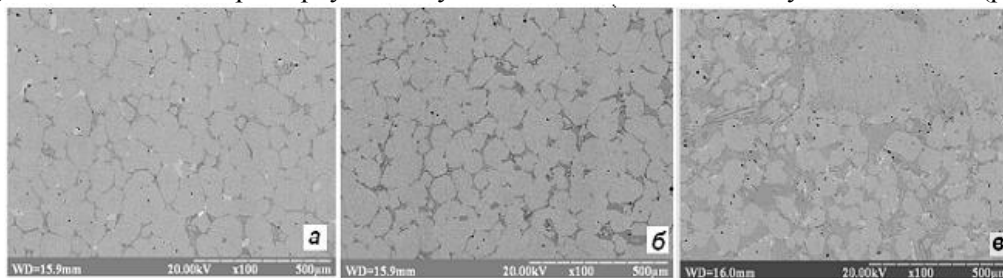
Хімічний склад вихідних матеріалів та композицій з них

Матеріал	Вміст елементів, %									
	Fe	Ni	Cr	Cu	Si	B	C	P	S	Mn
Залізо	Осн.	<0,3	<0,3	<0,3	0,28	–	0,17	<0,04	<0,05	0,500
СФЗ	Осн.	25,0	8,30	4,40	1,6	3,2	0,6	0,42	–	–
Fe+15 % СФЗ	Осн.	3,75	1,74	0,28	3,0	0,9	0,22	0,08	0,042	0,255
Fe+30 % СФЗ	Осн.	5,00	2,12	0,30	0,48	1,1	0,24	0,11	0,040	0,240
Fe+40 % СФЗ	Осн.	8,7	3,33	0,36	0,56	1,7	0,24	0,17	0,032	0,195
Fe+50 % СФЗ	Осн.	12,5	4,44	0,41	0,64	2,3	0,27	0,22	0,025	0,150
Fe+70% СФЗ	Осн.	16,4	6,64	1,39	0,88	2,8	0,33	0,28	0,014	0,11

Для вивчення впливу концентрації сірчаної кислоти на корозійну стійкість сплавів готували 2,5% та 30% її розчини у воді. Зразки сплавів занурювали у розчини кислот і після певної витримки їх виймали з нього, промивали водою, сушили та зважували. Зважування проводили на аналітичних терезах з точністю до 0,001 г. Проводились також металографічні дослідження поверхні зразків до та після корозії. Отримані результати наведені на рисунках 1–3 та рисунку 6.

Про попередню оцінку корозійної стійкості зразків можна зробити висновок за загальним зовнішнім виглядом розчину, в якому вони кородували. Зі зменшенням вмісту самофлюсівного сплаву в сплаві колір більш темним (змінюється від світлого до темно синьо-зеленого), що свідчить про різну концентрацію розчинених продуктів корозії.

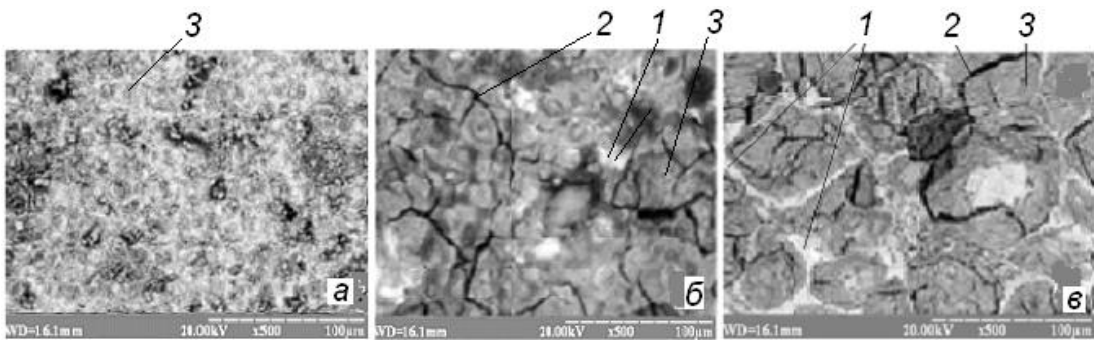
Металографічні дослідження структури вихідних зразків показали, що вона двохфазна і складається з зерен заліза та включень самофлюсівного сплаву (рис. 1, а). При збільшенні вмісту в сплаві самофлюсівного сплаву останній утворює суцільне мереживо за рахунок чого утворюється "сотова" структура в якій зерна заліза відокремлені один від одного прошарком СФЗ (рис. 1, б). Товщина цього прошарку збільшується зі збільшенням вмісту СФЗ в сплаві (рис. 1, в).



а – 15; б – 30; в – 50 (темно сіра фаза – СФЗ)

Рис. 1. Мікроструктура вихідних зразків з різним вмістом СФЗ (%)

Після проведення корозійних досліджень структура поверхні зразків змінюється. Зразки з чистого заліза кородують рівномірно по всій поверхні (рис. 2, а).



1 – СФЗ; 2 – тріщини; 3 – залізо

Рис. 2. Мікроструктура поверхні зразків після корозії з заліза (а), сплаву Fe–15% СФЗ (б) та сплаву Fe–30% СФЗ (в)

Структура поверхні зразків з вмістом СФЗ має інший вигляд. Так при корозії зразку з 15% СФЗ в обох розчинах майже на всій його поверхні виникають тріщини (рис. 2, б).

При збільшенні в сплаві вмісту СФЗ також мають місце корозійні тріщини (рис. 2, в). При цьому спостерігається виділення на поверхні зразка мережива з СФЗ. Аналізуючи загальний вигляд мікроструктури поверхні разків з 50% СФЗ після корозії можна відмітити проявлення на ній зерен карбідів та карбоблідів (рис. 3, а), які характерні для структури самофлюсівних сплавів (рис. 3, б), що ужджується з даними роботи [1]. Структура впорядковується, утворюється карбідно-боридний каркас.

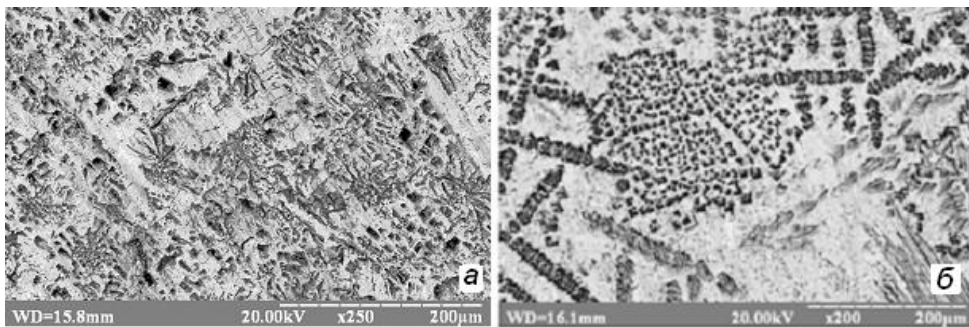


Рис. 3. Мікроструктура зразків на основі заліза, які містять 50% (а) та 100% СФЗ після корозії у сірчаній кислоті

При вивченні вагових змін зразків під час корозії було встановлено (рис. 4), що в 2,5% розчині зразки з вмістом СФЗ 15 та 30% кородують протягом 50 год. практично однаково. При цьому вагові зміни знаходяться на рівні вагових змін чистого заліза.

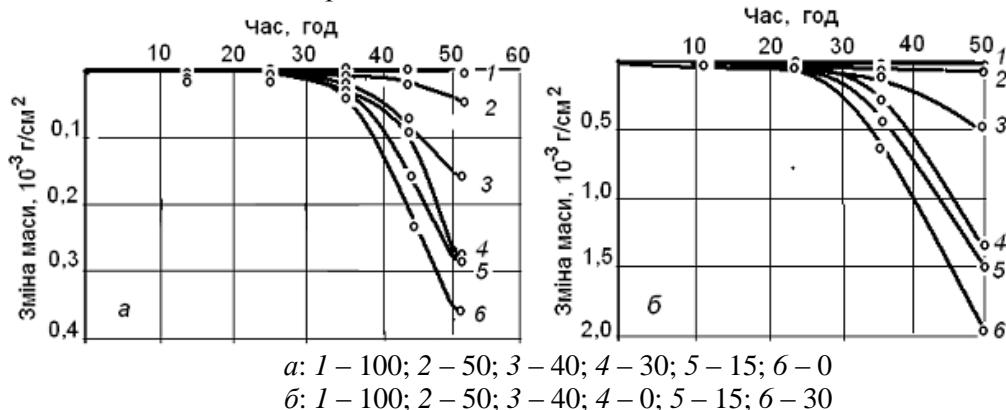


Рис. 4. Залежність зміни маси зразків сплавів Fe – СФЗ від часу їх корозії у 2,5%-ому (а) і 30% – ому (б) розчинах сірчаної кислоти з різним вмістом СФЗ (%)

Спостерігається також прискорення корозійних процесів у 4–6 разів для всіх сплавів зі збільшенням концентрації розчину сірчаної кислоти (рис. 4, б).

Для порівняння швидкості процесів корозії в роботі були розраховані вагові показники швидкості корозії для сплавів з різним вмістом СФЗ за формулою [4]:

$$k = \frac{M}{St} \quad (1)$$

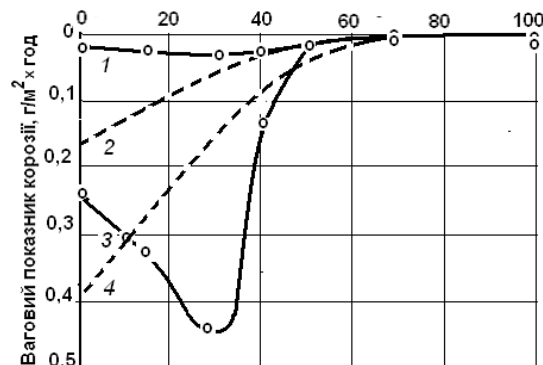
де  $k$  – ваговий показник швидкості корозії ( $\text{г/м}^2 \times \text{год.}$ );

$S$  – площа поверхні зразка,  $\text{м}^2$ ;

$t$  – час випробувань, год.

$M$  – корозійні втрати маси зразка, г (різниця у вазі до і після випробувань);

На основі отриманих даних були побудовані залежності значень вагових показників корозії від вмісту СФЗ (рис. 5). Отримані залежності узгоджуються з експериментальними даними наведеними вище.



1 – 2,5; 3 – 30; 2, 4 – теоретичні залежності

Рис. 5. Залежність середніх значення вагового показника корозії від вмісту СФЗ при корозії в розчинах сірчаної кислоти (%) протягом 50 годин

**Обговорення результатів.** Отримані результати по дослідженню корозійної стійкості в нашій роботі можна пояснити виходячи з елементного складу матеріалів, що досліджувались (табл.1). Як видно з таблиці 1, основними легувальними елементами досліджуваних сплавів є нікель та хром, які можуть підвищувати корозійну стійкість сплавів на основі заліза. Наявність хрому в сплаві буде приводити до утворення його карбідів і боридів (або складних карбідів і боридів) [1,2], що, вірогідно, також може сприяти підвищенню корозійної стійкості сплаву. Останнє зумовлено їх більш високою корозійною стійкістю ніж металів, що їх утворюють.

Бор та кремній забезпечують самофлюсівність сплавам [1,2], а також можуть утворювати з іншими складовими сплаву бориди та силіциди.

Наявність в сплавах на основі заліза фосфору може бути причиною виникнення кристалізаційних тріщин, що може бути причиною погіршення їх корозійної стійкості. Окрім того, в сплавах на основі заліза можуть утворюватись фосфідні евтектики Fe-P, Fe-P-C, Fe-P-C-Si [5,6].

Мідь в сплавах на основі заліза підвищує їх стійкість до корозії за рахунок суттєвого зниження швидкості окиснення заліза [7]. Але вона також може взаємодіяти з сірчаною кислотою за реакцією  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{H}_2$  або  $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ .

При взаємодії сплавів на основі заліза з розчинами сірчаної кислоти можливе протікання наступних реакцій  $\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ ;  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$ ;  $\text{Fe} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2$ . Або в загальному вигляді  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$ . При цьому поверхня металу пасивується і процес корозії поступово сповільнюється за рахунок утворення пасивного шару на поверхні заліза із змішаного оксиду  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_3\text{O}_4$ . Товщина цього шару може складати 3–5 нм [8]. Порівняно висока корозійна стійкість заліза та мало вуглецевих його сплавів зумовлюється також тим, що при взаємодії з сірчаною кислотою на його поверхні можуть утворюватись важкорозчинні продукти корозії систем Fe-Si та Fe-C.

Однією з причин корозійного розтріскування, яке відбулося при дії сірчаної кислоти на зразки, що містять 15% та 30% СФЗ (рис. 2, б,в) може бути сегрегація елементів [9], у нашому

випадку фосфору, та хімічна активність середовища. Іншою причиною може бути неоморідність хімічного складу досліджуваних матеріалів. Значна різниця в електрохімічних потенціалах компонентів сплаву може сприяти прискоренню перебігу анодно-катодних процесів, які можуть лежати в основі перебігу корозійних процесів.

Загальний механізм перебігу цього виду корозії полягає у тому [10], що при контакті двох металів, які мають різні електрохімічні потенціали, утворюються гальванічні пари. При цьому метал з більш від'ємним електрохімічним потенціалом в ряду напружень є більш активним.

У нашому випадку найбільш електронегативним, а отже, найбільш активним елементом, є Mn, який міг утворити у зразку наступні сполуки за нижчеказаними реакціями  $Mn + O_2 = MnO_2$  та  $4Mn + 3O_2 = 2Mn_2O_3$ . Можливе також протікання реакцій:  $Mn + H_2SO_4 = MnSO_4 + H_2$ .

Хром хімічно малоактивний, але при взаємодії з розбавленою сірчаною кислотою утворює солі трьовалентного хрому [11]. Саме утворенням цих солей можна пояснити зміну кольору розчину на зелений інтенсивність якого збільшується зі збільшенням часу корозії та місту в композиціях СФЗ, який є джерелом хрому. При цьому можливе протікання реакцій:

$Cr + H_2SO_4 (розб) = CrSO_4 + H_2$ ,  $CrO + H_2SO_4 = CrSO_4 + H_2O$ ,  $2Cr(OH)_3 + 3H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 6H_2O$ .

Окрім того, хром має схильність до карбіду – ( $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$ ) та боридоутворення ( $CrB$ ,  $CrB_2$ ), що призводить до утворення так званого корозійностійкого «каркасу».

Як було зазначено вище, чисте залізо виявляється досить стійким до дії сірчаної кислоти. Ще більшу стійкість виявляє нікель, адже його електрохімічний потенціал складає лише  $-0,234$  В (у заліза  $-0,441$  В). Взаємодія нікелю з сірчаною кислотою відбувається за реакцією:  $Ni + H_2SO_4 = NiSO_4 + H_2$ .

Наявність нікелю в сплавах на основі заліза приводить до їх аустенізації. При наявності хрому відбувається стабілізація аустенітної структури, що покращує здатність сплавів до пасивації, а отже, збільшує їх корозійну стійкість у агресивних середовищах та тривалість їх експлуатації.

Виходячи з викладеного збільшення вмісту в досліджуваних матеріалах самофлюсівного сплаву теоретично має приводити до збільшення їх корозійної стійкості (рис. 5, 2,4). Але практично ця залежність інша (рис. 5, 1,3). Аномальне зниження корозійної стійкості при вмісті в сплавах СФЗ 15 та 30 % може бути зумовлене утворенням гальванічних пар унаслідок значної хімічної неоднорідності, зумовленою структурою матеріалу в якій є фазова складова з заліза і високолегована складова СФЗ (рис.2). У цьому випадку при наявності електроліту, який вміщує сірчану кислоту та сульфат міді, як це має місце у нашому випадку, можливе виникнення гальванічної пари у якій як анод слугує залізо, а катод – самофлюсівний сплав, який є високолегованим сплавом [1,2]. Останнє узгоджується з даними по отриманню порошоків нержавійних сталей шляхом міжкристалевої корозії [12]. Як наслідок, відбувається значне прискорення розчинення заліза, особливо на межі поділу фаз. Це може бути однією з причин виникнення тріщин при корозії сплавів з вмістом СФЗ меншим за 30 % які мають структуру з зерен заліза і дискретними зернами самофлюсівного сплаву (рис. 2, а; рис. 6). У цьому випадку унаслідок виникнення глибинних тріщин збільшується площа поверхні, яка приймає участь у електрохімічних процесах.

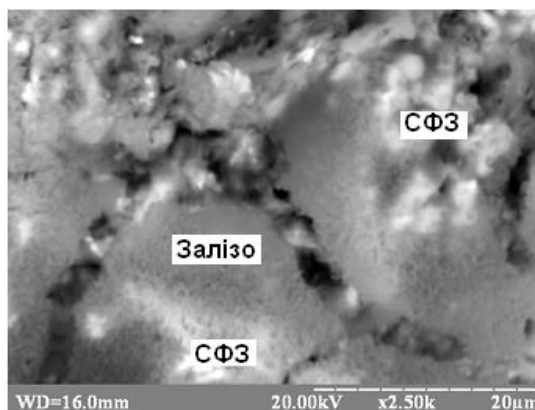
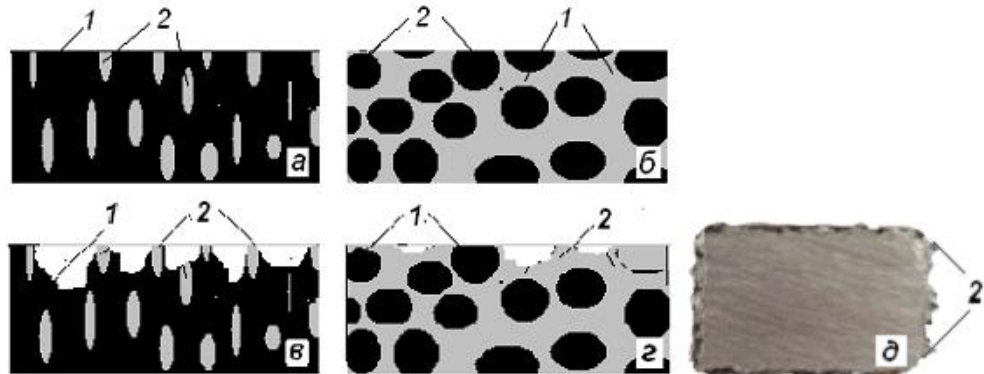


Рис. 6. Структура поверхні сплаву Fe–30 % СФЗ зі слідами міжкристалевої корозії

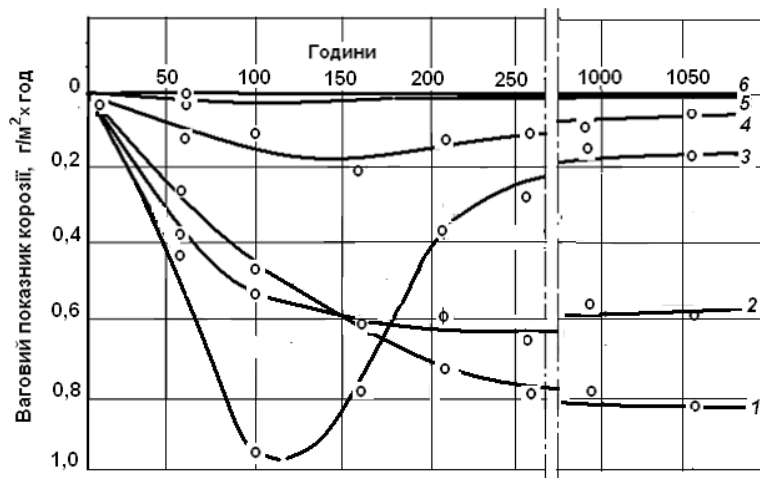
Збільшення корозійної стійкості сплавів з вмістом СФЗ більше 30 % може бути зумовлене відносним збільшенням фазової складової, яка в досліджених умовах практично не кородує (рис. 4, 1). У таких сплавах, як було зазначено вище, фазова складова з СФЗ утворює суцільне мереживо, яке відокремлює зерна заліза одне від одного як у площині поверхні так і в глибину (рис. 7, б). Така структура може значно зменшувати міжфазову поверхню, яка приймає участь у електрохімічних процесах.



1 – залізо; 2 – самофлюсівний сплав

Рис. 7. Схема корозії сплавів з вмістом СФЗ до (а, в) і більше (б, г) 30 %; а, б – до корозій; в, г – після корозій; д – зразок в перетині з слідами корозії на поверхні

Для в'ясування впливу структури сплавів на перебіг процесів, які відбуваються при корозії досліджуваних сплавів залізо – самофлюсівний сплав нами були проведені довготривалі випробування їх корозійної стійкості, результати яких наведені на рисунку 8.



1 – 0; 2 – 15; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60

Рис. 8. Залежність вагового показника корозії сплавів Fe–СФЗ від часу корозії та вмісту СФЗ (%) в 30%-ому розчині сірчаної кислоти

Як видно з них, дійсно, сплави, які мають гетерогенну структуру з дискретними включеннями фази СФЗ інтенсивно кородують, особливо на початковій стадії (рис. 6; рис. 7, в; рис. 8). При збільшенні тривалості корозії інтенсивність корозії дещо знижується, але залишається значною (рис. 8, 2,3). При збільшенні в сплаві вмісту СФЗ інтенсивність корозії значно зменшується як на початковій стадії так і у подальшому (рис. 8, 4,5). А для сплавів з вмістом СФЗ 50 %, особливо за часу корозії більшому за 250 год., процес корозії відбувається подібно до корозії самофлюсівних сплавів на основі заліза, які в досліджених умовах кородують дуже повільно. Отримані результати підтверджують наші припущення, що на корозійну стійкість досліджуваних сплавів значною мірою впливає їх структура. Процес корозії буде визначатись закономірностями корозії самофлюсівного сплаву у тому випадку, коли в структурі матеріалу при отриманні його спіканням у присутності рідкої фази [3] він утворює суцільне мереживо (рис. 1,

б,в ; 7, г), яке розділяє фазу заліза і попереджує її контакт з агресивним середовищем (у нашому випадку розчинами сірчаної кислоти).

З врахуванням значень вагового показника корозії був розрахований глибинний показник швидкості корозії (табл. 2), який характеризує середнє проникнення корозійного руйнування в матеріал у міліметрах за одиницю часу (І рік), тобто мм/рік. Розрахунки проводили за формулою [4]:

$$\dot{I} = \frac{8,76k}{\gamma} \quad (2)$$

де  $\gamma$  – густина матеріалу, що випробується,  $г/см^3$

Отримані дані наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Залежність глибинного показника корозії від вмісту СФЗ в різних розчинах сірчаної кислоти**

Вміст СФЗ, %	Показник корозії П, мм/рік	
	2,5 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
0	0,180	0,898
15	0,1330	0,665
30	0,0270	0,194
40	0,0140	0,085
50	0,0073	0,044
100	0,0015	0,009

Як видно з таблиці 2 має місце кореляція між отриманими значеннями глибинного показника корозії з даними наведеними на рисунках 4, 5, 8. Якщо давати характеристику дослідженим матеріалам з точки зору 10 – бальної шкали оцінювання загальної корозійної стійкості матеріалів [4], композиції з вмістом самофлюсівного сплаву на основі заліза більшим за 30 % у контакт з розчинами сірчаної кислоти відносяться до стійких та дуже стійких і можуть бути використані для виготовлення конструкційних матеріалів заглибних насосів гірничо – та нафтодобувної промисловості та запірної арматури хімічної промисловості.

**Висновки.** Вивчена кінетика корозійної стійкості порошкових матеріалів з композицій, які складались з заліза та 15, 30, 40, 50 і 70 % високолегованого самофлюсівного сплаву в 2,5 та 30 % розчині сірчаної кислоти. Показано, що корозійна стійкість змінюється залежно від складу композиції та часу корозії.

Запропоновано механізм корозії досліджених матеріалів, згідно якому відносно низька корозійна стійкість композицій з вмістом СФЗ 15 та 30 % зумовлена утворенням гальванічних пар на межі фази заліза та СФЗ, що прискорює процеси корозії. Збільшення вмісту СФЗ понад 30 % призводить до утворення у матеріалі суцільного каркасу з СФЗ, який є дуже стійким у розчинах кислот. Останній ізолює фазу заліза від контакту з розчином кислоти і, тим самим, визначає швидкість корозії матеріалу у цілому.

Встановлено, що композиції з вмістом самофлюсівного сплаву 15 і 30 % і часі корозії у межах до 200 годин за 10 – бальної шкали оцінювання загальної корозійної стійкості матеріалів відносяться до стійких, а з вмістом СФЗ більшим за 30 % до стійких і дуже стійких у 2,5 та 30 % розчинах сірчаної кислоти.

У подальшому для розширення галузей застосування матеріалів із композицій залізо–самофлюсівний сплав доцільне проведення досліджень їх корозійної стійкості в інших агресивних середовищах розчинів кислот, лугів та солей.

**Список використаних джерел:**

1. Степанчук А.М. Використання самофлюсівних сплавів при створенні композиційних матеріалів та покриттів [Електор. ресурс]/А.М. Степанчук, О.А.Деміденко, Л.О.Бірюкович, М.Б.Шевчук //Матеріали міжнародної конференції "Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра", – Київ: НТУУ"КПІ", 2013. – С. 454–465.
2. Степанчук А.М. Матеріали для напилювання покриттів [текст] навч. посіб. /А.М. Степанчук, І.І. Білик. – К.: Центр учбової літератури, 2016. – 226 с.
3. Степанчук А.М. Конструкційні порошкові матеріали на основі заліза за участю самофлюсівних сплавів /А.М.Степанчук., О.А.Деміденко, А.В.Деміденко, К.В. Шаповал //Наукові вісті НТУУ"КПІ". – 2012. – №1. – С. 51–60.

4. Методические указания к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Коррозия и защита металлов» для студентов всех специальностей. /Сост.: С. И. Пинчук, А. П. Стовпченко, И. Г. Рослик, О. О. Внуков. – Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 33 с.
5. *Бондарь В.И.* Коррозия и защита материалов. Учеб. пособие для студентов металлургических специальностей. / В.И. Бондарь. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 126 с.
6. *Медовар Б.И.* Аустенитно-боридные стали и сплавы для сварных конструкций / Б.И. Медовар, Н.И. Пинчук, Л.В. Чекотило. – К.: Наукова думка, 1970. – 145 с.
7. *Кичигин В.И.* Коррозионная устойчивость порошковых сталей, инфильтрированных медью, в растворе серной кислоты / В.И. Кичигин, И.И. Замалетдинов, В.Г. Александров // М.: Коррозия: материалы, защит. – 2015. – №1. – С. 6–13.
8. *Пантелеенко Ф.И.* Пути повышения коррозионной стойкости плазменных слоев из самофлюсующихся сплавов на железной основе / Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов, О.П. Штемпель // Машиностроение: сб. науч. тр. / Под ред. И.П. Филонова. – Минск: Технопринт, 2002. – С. 226–232.
9. Замалетдинов И.И., Александров В.Г., Трубина Е.П. Исследование коррозионности порошковых сталей для трущихся узлов электронасосов, применяемых в нефтедобывающей промышленности / И.И. Замалетдинов, В.Г. Александров, Е.П. Трубина //Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: материалы 11 Междунар. науч. практ. конф., г. Новочеркасск, 19 нояб. 2012 г. /Юж.-Рос. Гос. Техн. Ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), – 2012. – С. 24–33.
10. Коррозия: справочное издание. Под ред. Л. Л. Шрайера. – М.: Металлургия, – 1981. – 632 с.
11. Otsubo, F., Era, N. and Kishitake, K., Structure and phases innickel-base self-fluxing alloy coating containing high chromium and boron / F. Otsubo, N. Era, K. Kishitake // SprayTechnol. – 2000. – №9. – С. 107–113.
12. *Степанчук А. М.* Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук. Підручник. /А.М. Степанчук.– Київ: Видавництво “Політехніка”, 2006. – 353 с.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2016