

**Олексій НАРІВСЬКИЙ**

**ОСОБЛИВОСТІ СЕЛЕКТИВНОГО РОЗЧИНЕННЯ МЕТАЛІВ У ПІТИНГАХ  
НА ПОВЕРХНІ СТАЛІ AISI 304**

ТОВ «Укрспецмаш»  
вул. Гагаріна, 7, м. Бердянськ, Запорізької обл., 71111. E-mail: amz309@yandex.ua

**Oleksij NARIVSKYY**

**PECULIARITIES OF SELECTIVE DISSOLUTION OF METALS IN PITTINGS  
ON AISI 304 STEEL SURFACE**

LTD “Ukrspetsmash”  
7, Gagarina Str., Berdyansk, 71111, Ukraine. E-mail: amz309@yandex.ua

**ABSTRACT**

The article studies selective dissolution of metals in metastable and stable pittings formed on AISI 304 steel surface in model recycled waters with pH4...8 and chlorides concentration of 300; 600 mg/l. In particular, it is determined that in model recycled waters with pH4; 5, 7, 8 and chlorides concentration of 600 mg/l and pH4; 8 and 300 mg/l steel makes stable pittings, and coefficients of selective dissolution of Cr from pittings are less than one. Thus, intensity of dissolution of metals in stable pittings grows in that order:  $\Delta\text{Cr}$ ,  $\Delta\text{Ni}$  and  $\Delta\text{Fe}$ . Because of it, their surface is enriched with Cr and depleted with Fe and Ni that can promote solid-phase diffusion of Cr atoms in volume, and Fe and Ni from volume of steel. At the same time, it is found that in model recycled waters with pH6 and chlorides concentration of 600 mg/l and pH5...7 and 300 mg/l AISI 304 steel makes metastable pittings, and these coefficients are more than one. Thereof, their surface is enriched with Fe and depleted with Cr and Ni that can promote solid-phase diffusion of Fe atoms in volume, and Cr and Ni from volume of steel. It is shown that in model recycled waters with pH4 and chlorides concentration of 300; 600 mg/l  $\Delta\text{Fe}$ ,  $\Delta\text{Ni}$  and  $\Delta\text{Cr}$  from metastable and stable pittings depend considerably on volume of  $\delta$ -ferrite in steel. In other model recycled waters its influence isn't essential.

**KEY WORDS:** selective dissolution of metals, metastable and stable pitting, corrosion losses, model recycled water.

**ВСТУП**

Сталь AISI 304 часто використовують у виробництві теплообмінної апаратури. Однак в оборотних хлоридовмісних водах вона може піддаватися пітинговій корозії. Разом з тим, низька електропровідність оборотних вод унеможливує електрохімічні дослідження сталей. У працях [1, 2] запропоновано пітинготривкість сталей і сплавів визначати за їх критичними температурами пітингування, а метастабільні і стабільні пітинги, що утворюються на їх поверхні у низькомінералізованих хлоридовмісних середовищах, ідентифікувати за коефіцієнтами селективного розчинення Cr і Ni із пітингів, які залежать від інтенсивності розчинення Cr; Fe і Ni. Проте особливості селективного розчинення металів із пітингів на сьогодні не досліджено. Тому робота присвячена визначенню характеру пітингування сталі AISI 304 у модельних оборотних водах, які найчастіше зустрічаються у виробничих умовах.

**МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Досліджували п'ять промислових плавок сталі AISI 304. Її хімічний склад і складові структури визначали раніше [1, 3]. Зразки піддавали пітингуванню у модельних оборотних водах з рН 4...8 і концентрацією хлоридів 300; 600 мг/л за температури 70 °С. Корозійні втрати  $\Delta\text{Cr}$ ,  $\Delta\text{Fe}$  і Ni сталі із пітингів визначали в працях [4–7]. Коефіцієнти селективного розчинення Cr і Ni із пітингів розраховували за формулою (1):

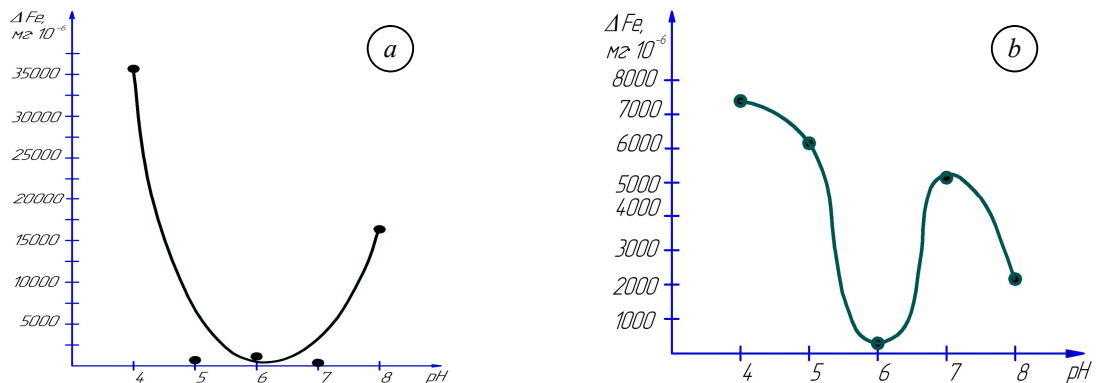
$$Z_{(Cr,Ni)} = \frac{\Delta m_{(Cr,Ni)} \cdot m_{(Fe)}}{\Delta m_{(Fe)} \cdot m_{(Cr,Ni)}}; \quad (1)$$

де  $\Delta m_{(Cr,Ni)}$  – вміст Cr і Ni у розчинах після витримки в них зразків, мг;  $\Delta m_{(Fe)}$  – вміст Fe у розчинах після витримки в них зразків, мг;  $m_{(Fe)}$  – вміст Fe у сталі, мас.%;  $m_{(Cr,Ni)}$  – вміст Cr і Ni у сталі, мас.%

Разом з тим, якщо  $Z_{Cr} < 1$ , на сталі утворюються стабільні пітинги, а, якщо  $Z_{Cr} > 1$ , нестабільні [2].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами корозійних випробувань сталі AISI 304 у модельних оборотних водах з концентрацією хлоридів 300 мг/л між середніми значеннями корозійних втрат  $\Delta Fe$  із пітингів та рН розчинів виявлено параболічну залежність (рис. 1 а).



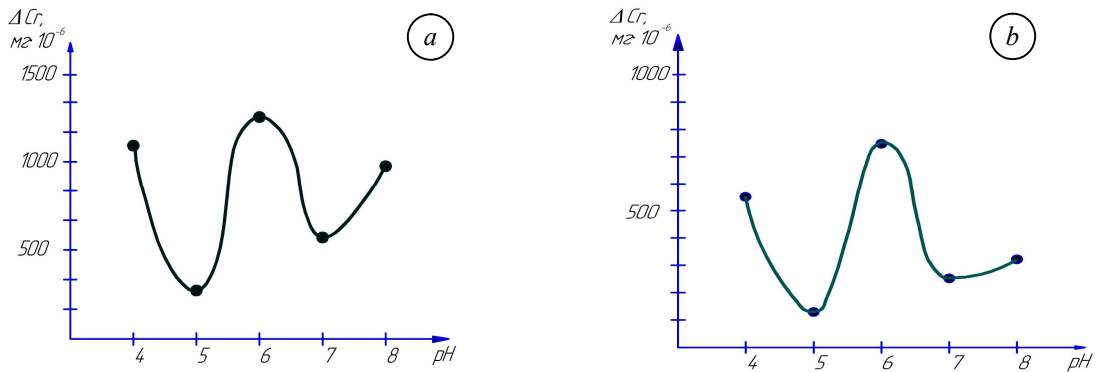
**Рис. 1.** Середні значення корозійних втрат  $\Delta Fe$  зі сталі AISI 304 залежно від рН модельної оборотної води з концентрацією хлоридів: а – 300 мг/л; б – 600 мг/л.

**Fig. 1.** Average corrosive losses  $\Delta Fe$  AISI 304 steel, depending on model pH recycled water with a concentration of chloride: a – 300 mg/l; b – 600 mg/l.

Найбільші  $\Delta Fe$  встановлено у хлоридовмісних розчинах з рН 4; 8 (рис. 1 а). При цьому  $\Delta Fe$  із пітингів сталі у розчині з рН 8 у 2,8 рази більші, ніж з рН 4. У хлоридовмісних розчинах з рН 5...7 її  $\Delta Fe$  найменші. Слід відзначити, що згідно з даними праці [4] у розчині з рН 4 виявлені найбільші коливання  $\Delta Fe$  із пітингів між плавками сталі. Зокрема, у розчині за рН 4 коливання між найбільшим і найменшим значеннями цього показника становить 6,2 рази. Проте у хлоридовмісних розчинах з рН 5...8 коливання між найбільшим і найменшим значеннями  $\Delta Fe$  із пітингів, становлять відповідно 1,08; 1,16; 1,35; 1,05 рази. Таким чином, максимальне коливання  $\Delta Fe$  із пітингів між плавками сталі виявлено в модельній оборотній воді з рН 4, а мінімальне – з рН 8. Найвірогідніше, це зумовлено впливом іонів  $H^+$  і  $OH^-$  та  $\delta$ -фериту, що містить сталь. Адже виявлено, що в модельній оборотній воді з рН 4 і концентрацією хлоридів 300 мг/л  $\Delta Fe$  із пітингів зростають від  $18776 \cdot 10^{-6}$  (плавка № 1) до  $63335 \cdot 10^{-6}$  мг (плавка № 5) [4] зі збільшенням у ній об'єму  $\delta$ -фериту від 0,05 (плавка № 1) до 0,168 об.% (плавка № 5) [3]. Аналогічну тенденцію виявлено також у модельній оборотній воді з рН 8 і концентрацією хлоридів 300 мг/л, але вплив  $\delta$ -фериту в сталі на зростання  $\Delta Fe$  із пітингів зі збільшенням його об'єму є меншим. Проте в модельних оборотних водах з рН 5...7 і концентрацією хлоридів 300 мг/л між  $\Delta Fe$  сталі [4, 5] та об'ємом оксидів титану [1] і  $\delta$ -фериту [3] не виявлено будь-якої кореляції.

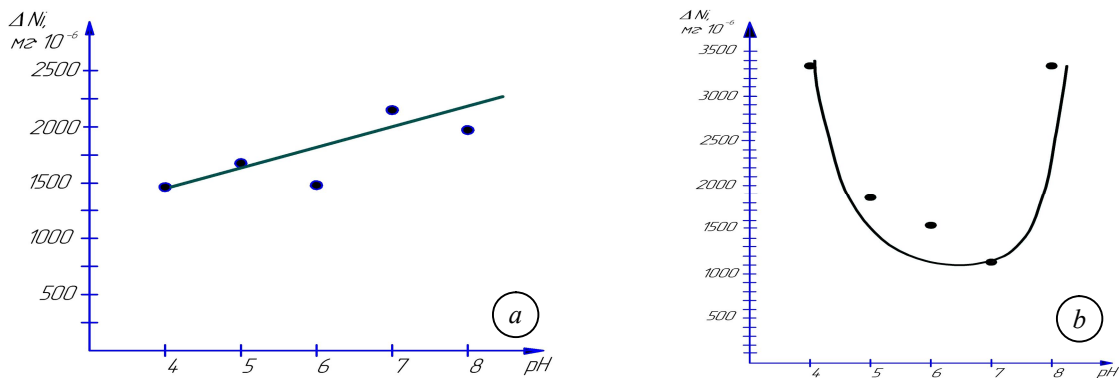
Встановлено (рис. 2 а) що в модельних оборотних водах з рН 4; 6; 8 і концентрацією хлоридів 300 мг/л  $\Delta Cr$  із пітингів максимальні, а з рН 5; 7 – мінімальні. Слід зазначити, що найбільші коливання  $\Delta Cr$  із пітингів виявлено в оборотній воді з рН 4 і концентрацією хлоридів 300 мг/л, тому що  $\Delta Cr$  сталі AISI 304 із пітингів зростають від  $206 \cdot 10^{-6}$  (плавка № 3) до  $3176 \cdot 10^{-6}$  мг (плавка № 5) [4]. У модельних оборотних водах з рН 4...7 і концентрацією хлоридів 300 мг/л коливання між мінімальним і максимальним значеннями  $\Delta Cr$  сталі із пітингів становлять відповідно 2,4; 1,9; 5,5 і 4,4 рази. При цьому кореляції між  $\Delta Cr$  із пітингів та об'ємом  $\delta$ -фериту і оксидів титану тут не виявлено. Найвірогідніше, у цих модельних оборотних водах  $\Delta Cr$  сталі AISI 304 із пітингів залежать від зміни їх хімічного складу в межах стандарту.

За результатами аналізу даних (рис. 3 а)  $\Delta Ni$  сталі із пітингів за прямолінійною залежністю зростають зі збільшенням рН модельних оборотних вод від 4 до 8.



**Рис. 2.** Середнє значення корозійних втрат  $\Delta Cr$  зі сталі AISI 304 залежно від pH модельної оборотної води з концентрацією хлоридів: *a* – 300 мг/л; *b* – 600 мг/л.

**Fig. 2.** Average corrosive losses  $\Delta Cr$  AISI 304 steel, depending on the pH model of recycled water to the concentration of chloride: *a* – 300 mg/l; *b* – 600 mg/l.



**Рис. 3.** Середнє значення корозійних втрат  $\Delta Ni$  зі сталі AISI 304 залежно від pH модельної оборотної води з концентрацією хлоридів: *a* – 300 мг/л; *b* – 600 мг/л.

**Fig. 3.** Average corrosion losses  $\Delta Ni$  AISI 304 steel, depending on model pH recycled water with a concentration of chloride: *a* – 300 mg/l; *b* – 600 mg/l.

Разом з тим, найбільші коливання між мінімальним і максимальним значеннями  $\Delta Ni$  сталі із пітингів встановлено в модельній оборотній воді з pH 7 і концентрацією хлоридів 300 мг/л [5]. Проте в модельних оборотних водах з pH 4...6 і такою ж концентрацією хлоридів коливання між мінімальним і максимальним значеннями  $\Delta Ni$  сталі із пітингів становлять відповідно 3,0; 1,7; 2,2 і 1,8 рази. Найвірогідніше, це зумовлено впливом pH середовища і хімічного складу сталі, тому що між  $\Delta Ni$  і об'ємом у ній  $\delta$ -фериту та оксидів титану кореляції не виявлено. При цьому відомо [8-10], що сплави Fe-Cr та Fe-Ni, які є основою корозійнотривких сталей, в активному стані розчиняються селективно. Тому для визначення інтенсивності  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Fe$  і  $\Delta Ni$  сталі із пітингів за формулою (1), застосовуючи дані [4, 5], розраховували коефіцієнти селективного розчинення  $Z_{Cr}$  і  $Z_{Ni}$  із пітингів у модельних оборотних водах з pH 4...8 і концентрацією хлоридів 300 мг/л (табл. 1).

Встановлено (табл. 1), що в модельних оборотних водах з pH 4; 8 і концентрацією хлоридів 300 мг/л коефіцієнти  $Z_{Cr}$  і  $Z_{Ni}$ , в основному, менші за одиницю. Це свідчить про те, що інтенсивність  $\Delta Fe$  із пітингів більша, ніж  $\Delta Cr$  і  $\Delta Ni$ . При цьому в цих модельних оборотних водах інтенсивність  $\Delta Cr$  із пітингів більша, ніж  $\Delta Ni$ , тому що коефіцієнти  $Z_{Cr}$ , в основному, менші, ніж  $Z_{Ni}$ . Тільки в модельній оборотній воді з pH 4 (плавки № 2; 5) та pH 8 (плавка № 1) вони однакові, що свідчить про однакову інтенсивність  $\Delta Cr$  і  $\Delta Ni$  із пітингів. Таким чином, у модельних оборотних водах з pH 4; 8 на сталі утворюються стабільні пітинги, а їх поверхня збагачується Cr та збіднюється Ni і Fe. Проте в модельних оборотних водах pH 5...7 на сталі утворюються метастабільні пітинги, а їх поверхня збагачується Fe та збіднюється Cr і Ni. Це може сприяти твердофазній дифузії атомів Fe в об'єм, а – Cr і Ni із об'єму сталі до поверхні метастабільних пітингів. Водночас у стабільних пітингах Cr може дифундувати в об'єм, а Ni і Fe із об'єму сталі до їх поверхні.

**Таблиця 1. Коефіцієнти селективного розчинення Cr і Ni сталі AISI 304 із пітингів у модельних оборотних водах з концентрацією хлоридів 300 мг/л**

**Table 1. Factors selective dissolution of Cu and Ni steel AISI 304 with pitinhiv working in model waters with chloride concentrations of 300 mg/l**

pH	Плавка, №									
	1		2		3		4		5	
	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$
4	0,3	0,6	0,2	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,1	0,1
5	3,7	38,0	3,9	55,9	2,9	75,3	2,8	46,2	5,4	44,3
6	5,7	22,2	8,0	27,0	9,2	26,9	6,3	26,3	28,1	49,2
7	11,1	71,1	8,8	100,8	18,1	109,4	39,0	86,8	11,5	53,4
8	0,1	0,1	0,1	1,3	0,05	0,7	0,1	1,0	0,7	0,9

Середнє значення  $\Delta Fe$  сталі із пітингів інтенсивно знижується зі збільшенням pH модельних оборотних вод від 4 до 6 (рис. 1 б). Проте з подальшим його збільшенням до 7 зростає до  $7500 \cdot 10^{-6}$  мг та знижується до  $2000 \cdot 10^{-6}$  мг з його збільшенням до 8. Найвірогідніше, це зумовлено тим, що pH середовища впливає на критичні потенціали сталі та кількість метастабільних пітингів на її поверхні. Адже відомо [8, 11], що pH хлоридовмісного середовища суттєво впливає на кількість пітингів на поверхні корозійнотривких сталей і сплавів, а селективне анодне розчинення компонентів із сплавів на основі електровід'ємного компонента, що протікає за механізмом твердофазної дифузії, характеризується критичними потенціалами, за яких виявлено різку зміну їх корозійної тривкості [10, 12, 13].

У модельній оборотній воді з pH 4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л виявлено найбільші коливання між мінімальними і максимальними значеннями  $\Delta Fe$  сталі AISI 304 із пітингів, яке становить 6,2 рази. Це зумовлено впливом хімічного складу сталі на  $\Delta Fe$  із пітингів, тому що між цими втратами [6] та об'ємом у ній оксидів титану [1] і  $\delta$ -фериту [3] кореляції не виявлено.

Результати аналізу (рис. 2 б) свідчать, що в модельних оборотних водах з pH 4...8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л між  $\Delta Cr$  сталі із пітингів та pH середовища залежності такі самі, як з pH 4...8 і 300 мг/л. При цьому згідно з [7] найбільші коливання між максимальним і мінімальним значенням  $\Delta Cr$  спостережено в модельній оборотній воді з pH 6 і концентрацією хлоридів 600 мг/л, яке становить 8,0 разів. У модельних оборотних водах з pH 4; 5; 7; 8 ці коливання менші і становлять відповідно 5,3; 5,3; 6,2 і 1,5 рази. Це зумовлено впливом хімічного складу сталі AISI 304, тому що між  $\Delta Cr$  [6; 7] та об'ємом у ній оксидів титану [1] і  $\delta$ -фериту [3] кореляції не виявлено.

Встановлено (рис. 3 б), що в модельних оборотних водах з pH 4...8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л середні значення  $\Delta Ni$  із пітингів стрімко знижуються зі збільшенням pH середовища від 4 до 7, але далі ще інтенсивніше зростають зі збільшенням pH до 8. Це зумовлено впливом pH хлоридовмісного середовища на кількість пітингів. Отже, за даними [6, 7], найбільше коливання між максимальним і мінімальним значеннями  $\Delta Ni$  із пітингів становить 21,7 рази у модельній оборотній воді з pH 5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. Це зумовлено впливом  $\delta$ -фериту і оксидів титану, тому що  $\Delta Ni$  із пітингів зростають від  $166 \cdot 10^{-6}$  (плавка № 3) до  $3606 \cdot 10^{-6}$  мг (плавка № 5) зі збільшенням у сталі об'єму  $\delta$ -фериту від 0,034 (плавка № 3) до 0,078 об.% (плавка № 4) [3] і об'єму оксидів титану від 0,0161 (плавка № 3) до 0,0324 об.% (плавка № 4) [1].

У модельній оборотній воді з pH 4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л коливання між максимальним і мінімальним значеннями  $\Delta Ni$  із пітингів також високе і становить 7,7 рази. Це зумовлено впливом оксидів титану і середнього діаметра зерна аустеніту, тому що  $\Delta Ni$  із пітингів знижуються від  $8875 \cdot 10^{-6}$  (плавка № 4) до  $742 \cdot 10^{-6}$  мг (плавка № 2) [6] зі збільшенням у сталі об'єму оксидів від 0,0175 (плавка № 2) до 0,0324 об.% (плавка № 4) і середнього діаметра зерна аустеніту від 49 (плавка № 4) до 86 мкм (плавка № 2) [1].

У модельних оборотних водах з pH 6...8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л коливання між максимальними і мінімальними значеннями  $\Delta Ni$  із пітингів менші, ніж у модельній оборот-

ній воді з рН 4 і становлять відповідно 3,0; 2,6 і 2,8 рази. Це не пов'язано із впливом  $\delta$ -фериту і оксидів титану, а зумовлено, за результатами аналізу даних праць [6, 7], впливом С і N.

Для визначення інтенсивності  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$  і  $\Delta Fe$  із пітингів за формулою (1), застосовуючи дані [6, 7], розрахували коефіцієнти  $Z_{Cr}$  і  $Z_{Ni}$  із пітингів у модельних оборотних водах з рН 4...8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л (табл. 2). Встановили, що в модельних оборотних водах з рН 4; 5; 7; 8 коефіцієнти  $Z_{Cr}$  із пітингів менші за одиницю. Це свідчить про те, що корозійні втрати  $\Delta Fe$  із пітингів інтенсивніші, ніж  $Cr$ . До того ж у цих модельних оборотних водах у більшості плавок сталі коефіцієнти  $Z_{Ni}$  більші за одиницю. Це свідчить про те, що інтенсивність  $\Delta Ni$  із пітингів більша, ніж  $\Delta Fe$ . Таким чином, можна зазначити, що в модельних оборотних водах з рН 4; 5; 7; 8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$  і  $\Delta Fe$  із пітингів зростають у такому ряді:  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$ ,  $\Delta Fe$  або  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Fe$ ,  $\Delta Ni$ .

**Таблиця 2. Коефіцієнти селективного розчинення Cr і Ni сталі AISI 304 із пітингів у модельних оборотних водах з концентрацією хлоридів 600 мг/л**

**Table 2. Factors selective dissolution of Cu and Ni steel AISI 304 with pitinhiv working in model waters with chloride concentrations of 600 mg/l**

рН	Плавка, №									
	1		2		3		4		5	
	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$	$Z_{Cr}$	$Z_{Ni}$
4	0,26	16,6	0,28	0,96	0,72	1,80	0,28	10,90	0,22	0,41
5	0,15	2,6	0,10	0,2	0,03	0,2	0,10	5,6	0,05	5,0
6	16,4	78,3	4,4	10,0	2,1	2,0	31,6	31,9	2,2	31,5
7	0,6	1,46	0,004	0,29	0,08	0,97	0,09	0,95	0,5	1,49
8	0,5	4,54	0,5	10,22	0,5	3,65	0,6	5,66	0,8	6,91

Встановлено, що в модельній оборотній воді з рН 6 і концентрацією хлоридів 600 мг/л коефіцієнти  $Z_{Cr}$  і  $Z_{Ni}$  із пітингів більші за одиницю. Це свідчить про те, що інтенсивність  $\Delta Fe$  із пітингів більша, ніж  $\Delta Cr$ , а  $\Delta Ni$ , ніж  $\Delta Fe$ . Отже, у цій модельній оборотній воді  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$  і  $\Delta Fe$  із пітингів зростають у такому ряді:  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Fe$ ,  $\Delta Ni$ .

Результати аналізу даних (табл. 2) свідчать, що в модельних оборотних водах з рН 4; 5; 7; 8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л на сталі AISI 304 утворюються стабільні, а з рН 6 – метастабільні пітинги. До того ж, узагальнюючи вищенаведене, можна відзначити тенденцію до зростання кількості модельних оборотних вод, де на сталі утворюються стабільні пітинги зі збільшенням у них концентрації хлоридів від 300 до 600 мг/л. Це узгоджується із загальновідомими даними [8, 9] про те, що зі збільшенням у хлоридовмісному середовищі вмісту хлоридів на поверхні корозійнотривких сталей знижується кількість пітингів, але зростає швидкість підростання тих, що залишаються на їх поверхні.

## ВИСНОВКИ

1. За результатами досліджень виявлено, що в модельних оборотних водах з рН 4; 5; 7; 8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л та рН 4; 8 і 300 мг/л на сталі AISI 304 утворюються стабільні пітинги, а коефіцієнти селективного розчинення  $Cr$  із пітингів менші за одиницю. Разом з тим встановлено, що в модельних оборотних водах з рН 6 і концентрацією хлоридів 600 мг/л та рН 5...7 і 300 мг/л пітинги метастабільні, і ці коефіцієнти більші за одиницю.

2. Показано, що інтенсивність розчинення  $Cr$ ,  $Fe$  і  $Ni$  з поверхні метастабільних пітингів зростає у такому ряді:  $\Delta Fe$ ,  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$ . Тому їх поверхня збагачується  $Fe$  та збіднюється  $Cr$  і  $Ni$ , що може сприяти твердофазній дифузії атомів  $Fe$  в об'єм, а  $Cr$  і  $Ni$  із об'єму сталі. В стабільних пітингах інтенсивність розчинення металів зростає у такому ряді:  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$  і  $\Delta Fe$ . Саме тому їх поверхня збагачується  $Cr$  та збіднюється  $Ni$  і  $Fe$ , що може сприяти твердофазній дифузії атомів  $Cr$  в об'єм, а  $Ni$  і  $Fe$  із об'єму сталі.

3. Встановлено, що в модельних оборотних водах з рН 4; 8 і концентрацією хлоридів 300 мг/л  $\Delta Fe$  сталі AISI 304 із пітингів найбільші, а з рН 5...7 – найменші. До того ж максимальне коливання  $\Delta Fe$  із пітингів між плавками сталі виявлено в модельній оборотній воді з рН 4, а мінімальне – з рН 8. Це зумовлено впливом об'єму  $\delta$ -фериту на  $\Delta Fe$  в модельній оборотній воді з рН 4.

4. Виявлено, що в модельних оборотних водах з рН 4; 6; 8 і концентрацією хлоридів 300 мг/л  $\Delta\text{Cr}$  із пітингів максимальні, а з рН 5; 7 – мінімальні. Разом з тим, максимальне коливання  $\Delta\text{Cr}$  із пітингів між плавками сталі встановлено в модельній оборотній воді з рН 4, що пов'язано з впливом  $\delta$ -фериту. Водночас у модельних оборотних водах з рН 5...7 коливання  $\Delta\text{Cr}$  менше та не залежить від структурної гетерогенності сталі.

5. Встановлено, що в модельних оборотних водах з рН 4; 5; 7 і концентрацією хлоридів 600 мг/л  $\Delta\text{Fe}$  із пітингів найбільші, а з рН 6; 8 – найменші. Водночас максимальне коливання  $\Delta\text{Fe}$  із пітингів виявлено в модельній оборотній воді з рН 4. Це не залежить від хімічного складу сталі в межах стандарту та її структури.

6. Показано, що в модельних оборотних водах з рН 4; 6 і концентрацією хлоридів 600 мг/л  $\Delta\text{Cr}$  із пітингів максимальні, а з рН 5; 7; 8 – мінімальні. До того ж максимальне коливання  $\Delta\text{Cr}$  із пітингів виявлено в модельній оборотній воді з рН 6, що зумовлено впливом зміни хімічного складу сталі в межах стандарту.

7. Виявлено, що в модельних оборотних водах з рН 4; 8 і концентрацією хлоридів 600 мг/л  $\Delta\text{Ni}$  із пітингів максимальні, а з рН 5...7 – мінімальні. Максимальне коливання  $\Delta\text{Ni}$  із пітингів між плавками сталі спостережено в модельних оборотних водах з рН 4; 5, що зумовлено впливом її структури.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Нарівський О.Е., Беліков С.Б. Визначення пітинготривкості сталі AISI 304 в хлоридовмісному середовищі, яке присутнє у роботі теплообмінників // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спец. вип. № 5. – С. 316-320.
2. Нарівський О.Е. Закономірності і механізми локальної корозії корозійнотривких сталей і сплаву аустенітного класу для ємнісної та теплообмінної апаратури: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. доктора техн. наук: спеціальність 05. 17. 14 – Хімічний опір матеріалів та захист від корозії / О.Е. Нарівський; Львів, 2015 – 42 с.
3. Нарівський О.Е. Вплив феритної фази на пітинготривкість сталі AISI 304 у модельних оборотних водах // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012. – Спец. вип. № 9, Т. 2 – С. 738-744.
4. Наривский А.Э. Кинетика коррозионных процессов сталей AISI 304 и 08X18H10 в слабкокислых хлоридсодержащих растворах и скорость их коррозии // Мат. семинара, 14-17 февраля 2011 г., Москва, Нормативно-техническая база по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту нефтеперерабатывающего оборудования. Проблемы надежной эксплуатации пластинчатых теплообменников в нефтепереработке. – М.: НТЦ при Совете главных механиков. – 2011. – С. 209–223.
5. Наривский А.Э. Кинетика коррозионного разрушения стали AISI 304 и 08X18H10 в нейтральных хлоридсодержащих растворах // Тез. докл. Международная конференция, посвященная 110-летию со дня рождения член-кор. АН СССР Г.В. Акимова. «Фундаментальные аспекты коррозионного материаловедения и защиты металлов от коррозии», 18–19 мая 2011 г., Москва. – Институт химии и электрохимии им. А.М. Фрумкина РАН, Министерство промышленности и торговли РФ, Федеральное Государственное Унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский Институт авиационных материалов (ВИАМТНЦ), Всероссийское общество коррозионистов (ВАКОР). – 2011. – С. 216–217.
6. Нарівський О.Е., Беліков С.Б. Закономірності та механізми корозійного розчинення сталі AISI 304 під осадом у модельних оборотних водах // Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. – 2013. – № 1. – С. 27–31.
7. Наривский А.Э., Солидор Н.А. Коррозионные процессы и скорость роста питтингов сталей AISI 304 и 08X18H10 в модельных оборотных водах // Вісник Приазовського державного технічного університету, серія технічні науки. – 2011. – 23, № 2. – С. 87–97.
8. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. – М.: Металлургия, 1970. – 448 с.
9. Колотыркин Я.М. Металл и коррозия. – М.: Металлургия, 1985. – 88 с.
10. Вязовикина Н.В. Использование хроновольтамперометрии для изучения механизма селективного растворения бинарных сплавов хром-железо // Электрохимия. – 1992. – № 6. – С. 917–922.
11. Нарівський О.Е. Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах: дис. канд. техн. наук: 05.17.14 / Нарівський Олексій Едуардович. – Львів, 2009. – 209 с.
12. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. – М.: Изд.-во АН СССР, 1959. – 592 с.
13. Lainonen H., Hanninen H. Stress corrosion cracking susceptibility of nitrogen alloyed stainless steels in 50%  $\text{CaCl}_2$  solution // Mater. Sci. Forum “High Nitrogen Steels’98”. – Zurich-Ueticon (Switzerland). – 1999. – P. 545–552.