

КІНЕТИКА КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ СТАЛЕЙ AISI 321 ТА 12X18H10T У НЕЙТРАЛЬНИХ ХЛОРИДОВІСНИХ РОЗЧИНАХ ТА ШВИДКІСТЬ ЇХ КОРОЗІЇ

Досліджено кінетику корозійного руйнування сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмісних розчинах. Установлено закономірності розчинення заліза, хрому та нікелю зі сталі AISI 321 у хлоридовмісних розчинах з рН 6;7;8 та концентрацією хлоридів 300 mg/l залежно від її хімічного складу, структурної гетерогенності і механічних властивостей. Враховуючи кінетику корозійного руйнування досліджених сталей, розраховано швидкість їх загальної та пітингової корозії.

Ключові слова: пітингова корозія, нейтральний хлоридовмісний розчин, швидкість корозії, кінетика корозійного руйнування.

Вступ

Корозійностійку сталь AISI 321 та її вітчизняний аналог 12X18H10T часто застосовують у виробництві емсійної та теплообмінної апаратури. Проте ці корозійностійкі сталі, крім загальної корозії, часто піддаються пітингуванню у нейтральних хлоридовмісних середовищах [1, 2]. До того ж, пітинги часто є осередком зародження та розповсюдження корозійних тріщин на поверхні обладнання [3;4]. При цьому відомо [5], що різні плавки однієї марки сталі мають різну корозійну стійкість у агресивних середовищах. Отже, щоб вибрати сталь з оптимальною корозійною стійкістю, потрібні знання про кінетику корозійних процесів на поверхні сталі у цих середовищах. Тому нижче досліджували кінетику корозійного руйнування сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмісних розчинах, які є моделлю оборотної води, та визначали швидкість їх загальної та пітингової корозії.

Матеріали та методика досліджень

Зразки виготовляли із п'яти промислових плавок корозійностійкої сталі AISI 321 і для порівняння із однієї плавки сталі 12X18H10T. Зразки діаметром 42 mm і завтовшки 1mm механічно полірували до шорсткості 0,1 mm. Хімічний склад досліджених сталей виз-

начали рентгенівським методом на багатоканальному рентгенівському спектрометрі СРМ-25. На кожному зразку проводили по 15 вимірювань. Дисперсію відхилення вмісту хімічних елементів у сталях AISI 321 та 12X18H10T визначали за формулою (1):

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2}, \quad (1)$$

де σ_x^2 – середньоквадратичне відхилення;
 n – кількість випробувань;
 x – вміст елементу, мас. %.

Статистичні дані про вміст хімічних елементів у досліджених сталях подано в табл. 1. Дисперсія відхилення результатів вимірювання становить для вуглецю $\pm 0,003$, мангану $\pm 0,005$, силіцію $\pm 0,004$, хрому $\pm 0,002$, нікелю $\pm 0,005$, титану $\pm 0,001$, купруму $\pm 0,003$, молібдену $\pm 0,001$, вольфраму $\pm 0,002$, азоту $\pm 0,001$ і фосфору $\pm 0,003$ мас. %.

Зразки досліджених сталей термостатували у хлоридовмісних розчинах з рН 6;7;8 та концентрацією хлоридів 300 mg/l при температурі 70 °C упродовж 240 годин. Хлоридовмісні розчини із вищезгаданими параметрами отримували додаючи у водяний розчин хлористий магній $MgCl_2$, хлоридну кислоту HCl або

Таблиця 1 – Хімічний склад сталей AISI 321 і 12X18H10T

Сталь, плавка	Вміст легувальних елементів, %										
	C·10 ⁻³	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	Cu	Mo	W	P	N
AISI 321 №1	35	1,66	0,54	17,10	9,10	0,32	0,242	0,242	0,021	0,0330	0,012
AISI 321 №2	30	1,59	0,66	16,43	9,14	0,34	0,242	0,224	0,030	0,0270	0,011
AISI 321 №3	64	1,22	0,52	17,43	9,70	0,41	0,307	0,316	0,021	0,0315	0,012
AISI 321 №4	30	1,62	0,41	17,41	9,24	0,31	0,387	0,096	0,026	0,0290	0,013
AISI 321 №5	40	1,70	0,49	17,70	9,10	0,35	0,334	0,089	0,025	0,0279	0,013
12X18H10T	60	1,70	0,49	17,97	10,46	0,46	0,228	0,150	0,086	0,0280	–

гідроксид натрію NaOH. Вміст заліза в розчинах після термостатування зразків визначали методом, який базується на взаємодії іонів двовалентного заліза з 1,10 фенотроліном із утворенням червоного комплексу з максимальним світлопоглинанням 510 nm. Відновлення заліза (III) до заліза (II) проводили, застосовуючи гідроксиламін. Вміст хрому в розчинах після термостатування зразків визначали методом, який базується на реакції Cr^{+6} з дефеніловим спиртом, з наступним визначенням оптичної густини цієї сполуки на КФК-3 при $\lambda = 540$ nm. Вміст нікелю в розчинах визначали методом, який базується на взаємодії іонів нікелю з диметилглюксимом у слабоаміачному середовищі за наявності бромиду, з утворенням комплексної сполуки від жовтого до червоного кольору залежно від концентрації нікелю. Фотометричним методом визначали оптичну густину при $\lambda = 440$ nm. Коефіцієнти селективного розчинення хрому і нікелю визначали за формулою:

$$Z_{(Cr, Ni)} = \frac{\Delta m_{(Cr, Ni)} \cdot m_{(Fe)}}{\Delta m_{(Fe)} \cdot m_{(Cr, Ni)}}, \quad (2)$$

де $Z_{(Cr, Ni)}$ – коефіцієнт селективного розчинення хрому або нікелю;

$\Delta m_{(Cr, Ni)}$ – вміст хрому або нікелю в розчинах після термостатування у них зразків, mg;

$\Delta m_{(Fe)}$ – вміст заліза в розчинах після термостатування в них зразків, mg;

$\Delta_{(Cr, Ni)}$ – вміст хрому або нікелю у сталях, mas. %;

$\Delta_{(Fe)}$ – вміст заліза у сталі, mas. %

Прямолінійні регресійні залежності між вмістом ΔFe , ΔCr , ΔNi у розчинах після термостатування в них зразків та вмістом хімічних елементів у досліджених сталях (N_i), складовими їх структури (d_3 – розмір зерна аустеніту; об'єм оксидів $V_{ок}$ та нітридів титану V_n в сталі; $L_{ок}$, L_n – середня відстань між оксидами або нітридами титану) і їх механічними властивостями (σ_b ; $\sigma_{0,2}$; δ) визначали методом найменших квадратів [6] за формулою

$$\Delta Fe_i; \Delta Cr_i; \Delta Ni_i = f(N_i; d_3; V_{ок}; V_n; L_{ок}; L_n; \sigma_{0,2}; \sigma_b; \delta), \quad (3)$$

де ΔFe_i ; ΔCr_i ; ΔNi_i – вміст заліза, хрому та нікелю у розчинах після термостатування у них зразків, mg;

N_i – вміст хімічних елементів у досліджених сталях, mas. % (табл. 1);

d_3 – середній діаметр зерна аустеніту, μm ;

$V_{ок}$ – об'єм оксидів у сталі, об. %;

V_n – об'єм нітридів титану в сталі, об. %;

$L_{ок}$, L_n – середня відстань між оксидами або нітридами титану, mm;

$\sigma_{0,2}$ – умовна границя текучості, mPa;

σ_b – тимчасовий опір розриву, mPa;

δ – відносне подовження, %.

Середній діаметр зерна аустеніту, об'єм оксидів, нітридів титану та середню відстань між ними визначали раніше [5, 7]. Механічні властивості ($\sigma_{0,2}$, σ_b , δ)

досліджених сталей визначали згідно з ГОСТ 1497-75 на розривній машині Р20 для статичного випробування металів з похибкою вимірювання не більше ніж 1 % (табл. 2).

Таблиця 2 – Механічні властивості сталі AISI 321

Плавка, №	Механічні показники		
	σ_b , mPa	$\sigma_{0,2}$, mPa	δ , %
1	615	304	69
2	654	332	65
3	569	239	48
4	582	245	55
5	586	291	70

Якщо сталь кородувала в активному стані, то визначали швидкість загальної корозії V_k за формулою [8]:

$$V_k = \frac{87600}{St} \left(\frac{m_{Fe}}{\rho_{Fe}} + \frac{m_{Cr}}{\rho_{Cr}} + \frac{m_{Ni}}{\rho_{Ni}} \right), \quad (4)$$

де m_{Fe} , m_{Cr} , m_{Ni} – корозійні втрати заліза, хрому та нікелю, mg;

S – площа зразка, cm^2 ;

t – час випробувань, год;

$\rho_{(Fe, Cr, Ni)}$ – густина заліза, хрому та нікелю, g/cm^3 .

Дані про швидкість загальної корозії досліджених сталей надано в табл. 4. Середню швидкість зростання пітінгів δ , $\mu m/год$ визначали за методикою, яку надано раніше в журналі «Фізико-хімічна механіка матеріалів», який найближчим часом вийде з друку.

Результати досліджень та їх обговорення

У результаті корозійних випробувань та хімічного аналізу розчинів після термостатування в них зразків зі сталей AISI 321 та 12X18H10T встановлено, що досліджені сталі зазнали найбільших корозійних втрат заліза у хлоридовмісних розчинах з рН7 (табл. 3). Так, у хлоридовмісному розчині з рН7 корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 у середньому 7,61 раза більше, ніж у хлоридовмісному розчині з рН6 та у 14,47 раза, ніж із рН8. Аналогічну тенденцію спостережено для сталі 12X18H10T, оскільки корозійні втрати заліза з дослідженої сталі у хлоридовмісному розчині з рН7 у 6,9 раза більше, ніж у хлоридовмісному розчині з рН6 та у 13,4 раза, ніж з рН8.

Такі закономірності найвірогідніше зумовлено тим, що в нейтральному хлоридовмісному розчині з рН7 іони хлору найінтенсивніше адсорбуються у шпарилах оксидної плівки досліджених сталей. При цьому відомо [3, 9], що залізо має меншу енергію десорбції зі сталей, ніж хром та нікель. Варто зазначити, що різні плавки сталі AISI 321 та сталь 12X18H10T суттєво відрізняються за корозійними втратами заліза у хлоридовмісному розчині з рН7. Так, найбільші корозійні втрати заліза $2297 \cdot 10^{-6} mg$ виявлено у плавки 2 сталі AISI 321, а найменші $1851 \cdot 10^{-6}$ та $1877 \cdot 10^{-6} mg$ у плавки 5 сталі AISI 321 та сталі 12X18H10T. Таку тенден-

Таблиця 3 – Корозійні втрати ДFe;ДCr;ДNi зі сталей AISI 321 та 12X18H10T після термостатування у нейтральних хлоридовмісних розчинах при температурі 70 °С упродовж 240 годин

Параметри розчину		Хімічний елемент	Марка сталі, плавка					12X18H10T
			AISI 321 (1)	AISI 321 (2)	AISI 321 (3)	AISI 321 (4)	AISI 321 (5)	
pH	C _{Cl⁻} , mg/l		Корозійні втрати, mg·10 ⁻⁶					
6	300	Fe	276	268	278	259	261	272
		Cr	100	588	441	362	284	128
		Ni	800	1054	4032	1479	4030	2897
7	300	Fe	1930	2297	2048	2087	1851	1877
		Cr	1109	692	2480	2838	468	796
		Ni	621	1575	2148	2464	2580	2387
8	300	Fe	150	150	130	146	130	140
		Cr	483	1710	2480	2838	500	796
		Ni	1957	1193	3102	1384	1193	2911

цію, в основному, зумовлено зміною вмісту хрому й азоту в сталях AISI 321 та об'єму оксидів $V_{ок}$ і середньої відстані між нітридами титану L_H . Оскільки виявлено, що коефіцієнти прямолінійної кореляції між корозійними втратами заліза ΔFe зі сталі AISI 321 та вмістом у ній хрому Cr, азоту N, об'ємом оксидів і середньою відстанню між нітридами титану відповідно становлять $r_1 = 0,81$; $-0,70$; $0,64$; $0,91$. Значимість коефіцієнтів кореляції $r_1 = 0,81$ між ΔFe та Cr і $r_1 = 0,91$ між ΔFe та L_H перевірено за t -критерієм Стьюдента з рівнем значимості $0,05$. Значимість коефіцієнтів кореляції $r_1 = -0,70$ між ΔFe та N і $r_1 = 0,64$ між ΔFe та $V_{ок}$ за t -критерієм Стьюдента не оцінювали, оскільки заздалегідь відомо, що вона менша ніж $0,10$. Однак між цими величинами можна розробити прямолінійні регресійні залежності, тому що коефіцієнти кореляції між ними більші, ніж критичне значення ($0,61$). Отже, розробимо прямолінійні регресійні залежності між вищезгаданими величинами:

$$\Delta Fe = 10^{-6}(6938-284,4Cr) \quad r_1=-0,81; \quad (5)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6}(708,6+16,93L_H) \quad r_1=0,91; \quad (6)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6}(3792,4+100000N) \quad r_1=0,70; \quad (7)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6}(1732,9+33333,3V_{ок}) \quad r_1=0,64. \quad (8)$$

За формулами (5, 6) виходить, що корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю знижуються зі збільшенням у ній вмісту хрому та зменшенням кількості великих за розміром нітридів титану. Формули (7, 8) маловартнісні, однак можна зазначити, що корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 знижуються, коли в ній збільшується вміст азоту та зменшується об'єм оксидів. Решта хімічних елементів, які входять до складу сталі AISI 321, складові її структури та механічні властивості не впливають на корозійні втрати заліза. Адже коефіцієнти кореляції між ΔFe сталі AISI 321 та вмістом у ній вуглецю, мангану, силіцію, нікелю, фосфору, об'ємом нітридів титану, середньою відстанню між оксидами і середнім діаметром зерна аустеніту відповідно станов-

лять $0,51$; $-0,22$; $0,55$; $0,11$; $0,56$; $0,1$; $-0,50$; $-0,02$. Узагальнюючи вищезгадане, відзначимо, що у хлоридовмісному розчині з pH7 корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321, в основному, залежать від вмісту в ній хрому та кількості великих за розміром нітридів титану.

У хлоридовмісному розчині з pH6 різні плавки сталі AISI 321 несуттєво відрізняються за корозійними втратами заліза. Так, плавка 4 сталі AISI 321 має найменші $259 \cdot 10^{-6}$, а плавка 3 найбільші $278 \cdot 10^{-6}$ mg корозійні втрати заліза. Таку закономірність зумовлено тим, що зміна хімічного складу сталі AISI 321 та її структурна гетерогенність і механічні показники майже не впливають на корозійні втрати заліза. Оскільки між корозійними втратами заліза ΔFe зі сталі AISI 321 та вмістом у ній вуглецю, мангану, силіцію, хрому, нікелю, фосфору, азоту, об'ємом оксидів, нітридів титану, середньою відстанню між ними, σ_b , $\sigma_{0,2}$ та δ встановлено низьку прямолінійну кореляцію з коефіцієнтами $r_1 = 0,53$; $-0,62$; $0,44$; $-0,23$; $0,51$; $-0,63$; $-0,57$; $0,50$; $0,64$; $0,42$; $0,06$; $0,01$; $-0,23$. Відзначимо, що між корозійними втратами заліза ΔFe зі сталі AISI 321 та вмістом у ній мангану, фосфору і об'ємом нітридів титану коефіцієнти кореляції $r_1 = -0,62$; $-0,63$; $0,64$ більші, ніж критичне значення ($0,61$). Отже, розробимо регресійні залежності між цими величинами:

$$\Delta Fe = 10^{-6}(311-27,5Mn) \quad r_1=-0,62; \quad (9)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6}(428-5882P) \quad r_1=-0,63; \quad (10)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6}(249+57,99V_H) \quad r_1=0,64. \quad (11)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції між величинами рівнянь (9–11) за t -критерієм Стьюдента не оцінювали, оскільки ці рівняння заздалегідь є маловартнісними. Однак спільний вплив цих чинників може виявитися достатньо суттєвим. Відтак можна зазначити, що корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 знижуються зі збільшенням у ній вмісту мангану і фосфору та зменшенням об'єму нітридів титану. Варто зауважити, що між корозійними втратами заліза зі сталі AISI 321 та середнім діаметром зерна аустеніту d_3 встанов-

лено кореляцію з коефіцієнтом $r_1 = 0,92$. Значимість коефіцієнта кореляції $r_1 = 0,92$ між ΔFe та d_3 оцінено за t -критерієм Стьюдента з рівнем значимості 0,05. Отже, розробимо прямолінійну регресійну залежність між цими величинами:

$$\Delta Fe = 10^{-6}(227,48 + 165,4d_3) \quad r_1 = 0,92. \quad (12)$$

Згідно з (12) корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають за збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту. Взагалі узагальнюючи вищезгадане можна зазначити, що у хлоридовмісному розчині з рН6 корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321, в основному, залежать від значення середнього діаметра зерна аустеніту.

У хлоридовмісному розчині з рН8, як і в розчині з рН6, різні плавки сталі AISI 321 суттєво не відрізняються за корозійними втратами заліза. Таку тенденцію зумовлено тим, що майже всі хімічні елементи, які входять до складу сталі AISI 321, складові її структури і механічні властивості не впливають на корозійні втрати заліза. Оскільки встановлено, що коефіцієнти кореляції між корозійними втратами заліза зі сталі AISI 321 та вмістом у ній вуглецю, мангану, силіцію, нікелю, фосфору, азоту, об'ємом оксидів, нітридів титану і середньою відстанню між ними, середнім діаметром зерна аустеніту, показником $\sigma_{0,2}$ та δ відповідно становлять $r_1 = -0,29; 0,46; 0,32; -0,54; 0,50; -0,44; -0,06; 0,51; 0,13; 0,47; 0,28; 0,51; 0,31$. Лише між ΔFe сталі AISI 321 та вмістом у ній хрому Cr, тимчасовим опором деформації $\sigma_{0,2}$ встановлено кореляцію з коефіцієнтами $r_1 = -0,73; 0,73$. Значимість коефіцієнтів кореляції між цими величинами перевірено за t -критерієм Стьюдента з рівнем значимості 0,10. Отже, розробимо прямолінійні регресійні залежності між цими величинами:

$$\Delta Fe = 10^{-6}(410,1 - 15,6Cr) \quad r_1 = -0,73; \quad (13)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6}(7,69 + 0,22y_{0,2}) \quad r_1 = 0,73. \quad (14)$$

Згідно з формулами (13, 14), корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають зі зменшенням у ній вмісту хрому та збільшенням її тимчасового опору деформації. Найвірогідніше, це зумовлено тим, що в цьому хлоридовмісному розчині хром пасивує сталь і таким чином знижує інтенсивність розчинення заліза, а зі збільшенням густини дислокацій зростає тимчасовий опір деформації сталі та інтенсивніше відбуваються анодні процеси, які прискорюють іонізацію заліза. Аналіз формул (5, 6, 8, 12–14) показав, що у хлоридовмісних розчинах з рН6; 7; 8 корозійне розчинення заліза зі сталі AISI 321 відбувається за різними механізмами, а саме: у хлоридовмісному розчині з рН7 іонізація та розчинення заліза в першу чергу відбувається в околі нітридів титану. При цьому інтенсивність цього процесу знижується зі збільшенням у сталі вмісту хрому. У хлоридовмісному розчині з рН6 анодними ділянками на поверхні сталі AISI 321, в основному, є границі зерен, де

іонізується та розчиняється залізо. До того ж, зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту інтенсивність анодної реакції зростає. Це зумовлено тим, що зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту на границях зерен збільшується ступінь некогерентності кристалітних ґраток. А через це, як відомо [10], зростає енергія активації металу.

Зі збільшенням лужності хлоридовмісного розчину до рН8 анодні процеси на поверхні сталі AISI 321 відбуваються на місцях з найбільшою густиною дислокацій, а саме в околі оксидів, нітридів титану та на границях зерен аустеніту.

Встановлено, що у хлоридовмісному розчині з рН7 корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 у середньому в 1,06 раза менше, ніж у хлоридовмісному розчині з рН8, але в 4,27 раза більше, ніж у розчині з рН6. Щоб пояснити таку тенденцію, визначимо вплив різних чинників на корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 у хлоридовмісних розчинах з рН6; 7; 8. Доведено, що у хлоридовмісному розчині з рН7 корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 не залежать від її хімічного складу, структурної гетерогенності та тимчасового опору деформації σ_b . Адже між корозійними втратами хрому зі сталі AISI 321 та вмістом у ній вуглецю, мангану, силіцію, хрому, нікелю, фосфору, азоту, об'ємом оксидів, нітридів титану та середньою відстанню між ними, середнім діаметром зерна аустеніту та тимчасовим опором деформації σ_b встановлено низьку прямолінійну кореляцію з коефіцієнтами $r_1 = -0,07; -0,55; -0,60; 0,31; 0,67; 0,47; 0,30; -0,21; -0,56; 0,31; 0,15; 0,07; -0,61$.

Коефіцієнти кореляції між корозійними втратами хрому зі сталі AISI 321 та вмістом у ній нікелю $r_1 = 0,67$, тимчасовим опором деформації $r_1 = -0,61$ більше, ніж критичне значення (0,61). Однак значущість коефіцієнтів кореляції між цими величинами за t -критерієм не оцінювали, оскільки зрозуміло, що ці регресійні залежності (15, 16) маловартнісні. Проте для якісної оцінки корозійних процесів вони придатні:

$$\Delta Cr = 10^{-6}(-24211 + 2778Ni) \quad r_1 = 0,67; \quad (15)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(13217 - 19,4\sigma_b) \quad r_1 = -0,61. \quad (16)$$

Згідно з формулами (15, 16), корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 зростають зі збільшенням у ній вмісту нікелю та зменшенням тимчасового опору деформації.

Між корозійними втратами хрому зі сталі AISI 321 та її границею текучості $\sigma_{0,2}$ і відносним подовженням δ встановлено достатньо щільну /прямолінійну кореляцію з коефіцієнтами $r_1 = -0,88; -0,89$. Значущість коефіцієнтів кореляції між цими величинами перевірено за t -критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,05. Отже, розробимо регресійні залежності між цими величинами:

$$\Delta Cr = 10^{-6}(8253 - 23,87\sigma_{0,2}) \quad r_1 = 0,88; \quad (17)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(7646 - 99,81\delta) \quad r_1 = 0,89. \quad (18)$$

Згідно з формулами (17, 18), корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю знижуються зі збільшенням $\sigma_{0,2}$ та d . Отже, чим більша здатність сталі до деформації, тим менші корозійні втрати хрому. Найвірогідніше це зумовлено тим, що іонізація хрому відбувається на анодних ділянках сталі, де найбільша густина дислокацій. При цьому чим більша здатність сталі до деформації, тим менша густина дислокацій в околі включень та на границях зерен, які найчастіше є анодними ділянками.

У хлоридовмісному розчині з рН6 корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 залежать від вмісту в ній вуглецю, об'єму оксидів та середньої відстані між оксидами та нітридами титану. Оскільки виявлено, що коефіцієнти прямолінійної кореляції між ΔCr сталі AISI 321 та вмістом у ній вуглецю, об'ємом оксидів та середньою відстанню між оксидами і нітридами титану становлять $r_1 = 0,72; 0,73; -0,62; 0,68$. Значущість коефіцієнтів кореляції $r_1 = -0,62$ між ΔCr та $L_{ок}$ і $r_1 = 0,68$ між ΔCr та V_H за t - критерієм Стьюдента не перевіряли, оскільки ці залежності маловартісні. Однак ці залежності є цілком придатними для якісної оцінки впливу цих чинників на корозійні втрати сталі AISI 321. Значущість коефіцієнтів кореляції $r_1 = 0,72$ між ΔCr та C і $r_1 = 0,73$ між ΔCr та $V_{ок}$ перевірено за t - критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,10. Отже, розробимо регресійні залежності між вищезгаданими величинами:

$$\Delta Cr = 10^{-6}(988-1,81L_{ок}) \quad r_1 = -0,62; \quad (19)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(-711,7+13,54L_H) \quad r_1 = 0,68; \quad (20)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(-34,3+8333,3C) \quad r_1 = 0,72; \quad (21)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(-23,3+50000V_{ок}) \quad r_1 = 0,73. \quad (22)$$

Згідно з формулами (19–22), корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 зростають зі збільшенням у ній об'єму великих за розміром оксидів і кількості великих за розміром карбонітрідів титану. Можна зазначити, що решта хімічних елементів, складових структури та механічні властивості сталі AISI 321 не впливають на корозійні втрати хрому у хлоридовмісному розчині з рН6. Оскільки виявлено, що коефіцієнти кореляції між ΔCr сталі AISI 321 та вмістом у ній мангану, силіцію, хрому, нікелю, фосфору, азоту, об'ємом нітрідів титану, середнім діаметром зерна аустеніту і механічними властивостями σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ відповідно становлять $r_1 = -0,41; 0,44; -0,48; 0,33; 0,38; -0,49; -0,30; -0,35; 0,28; 0,05; 0,42$. З аналізу вищезгаданого можна припустити, що найінтенсивніша іонізація хрому має місце на анодних ділянках металу в околі великих за розміром оксидів та карбонітрідів титану. У хлоридовмісному розчині з рН8 найбільші корозійні втрати хрому $2480 \cdot 10^{-6}$ і $2838 \cdot 10^{-6}$ спостережено у плавках 3;4 сталі AISI 321, а найменші $483 \cdot 10^{-6}$ і $500 \cdot 10^{-6}$ mg у плавки 1; 5 (табл. 3). Це зумовлено тим, що плавки 1; 5 сталі AISI 321 мають найбільше 69; 70 %, а плавки 3; 4 найменше 48; 55 % відносно подовження

(табл. 2). До того ж, між ΔCr сталі AISI 321 та її відносним подовженням встановлено прямолінійну кореляцію з коефіцієнтом $r_1 = -0,89$. Дещо меншу кореляцію встановлено між ΔCr сталі AISI 321 та вмістом у ній нікелю $r_1 = 0,63$, фосфору $r_1 = 0,66$ і границею текучості $r_1 = -0,65$. Залежності між цими величинами маловартісні, однак їх можна застосувати для якісної оцінки впливу цих показників на корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321. Значущість коефіцієнта кореляції $r_1 = -0,89$ між ΔCr та δ перевірено за t - критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,05. Отже, розробимо прямолінійні регресійні залежності між цими величинами:

$$\Delta Cr = 10^{-6}(-23420+2703Ni) \quad r_1 = 0,63; \quad (23)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(-19847+806376P) \quad r_1 = 0,66; \quad (24)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(6661-17,93\sigma_{0,2}) \quad r_1 = -0,65; \quad (25)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6}(7868-102\delta) \quad r_1 = -0,89. \quad (26)$$

Згідно з формулами (23–26), корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 зростають зі збільшенням у ній вмісту нікелю, фосфору та зменшенням границі текучості і відносного подовження. Закономірності (25;26) переконують, що корозійні втрати хрому зі сталі AISI 321 зростають, коли зменшується її здатність до пластичної деформації. Тому можна припустити, що корозійні втрати хрому з дослідженої сталі найінтенсивніше відбуваються у місцях найбільшої густини дислокацій. Найбільше скупчення дислокацій, як правило, спостерігають в околі включень та на границях зерен. У цих місцях також спостерігають сегрегацію фосфору та інших шкідливих домішок. Це пояснює, чому в хлоридовмісному розчині з рН8 зі збільшенням у сталі AISI 321 вмісту фосфору зростають корозійні втрати хрому. Відомо, що нікель збільшує здатність конструкційних матеріалів до пластичної деформації. Тому між закономірностями (23) та (25, 26), на перший погляд, є протиріччя. Однак це можна пояснити наступним чином. А саме зі збільшенням у сталі вмісту нікелю стабілізується аустеніт. Внаслідок цього також стабілізуються параметри кристалітної ґратки аустеніту, які набувають своїх максимальних значень. Через це зростає здатність сталі до деформації та зменшується енергія іонізації атомів елементів, які входять до складу кристалітної ґратки аустеніту.

Аналіз даних табл. 3 та регресійних залежностей (5–26) показав, що у хлоридовмісних розчинах з рН6; 7; 8 кінетика розчинення заліза та хрому зі сталі AISI 321 залежить від її хімічного складу, структурної гетерогенності й механічних властивостей. Проте щоб з'ясувати, у якому стані кородують сталі AISI 321 та 12X18H10T, за формулою (2) визначимо коефіцієнти селективного розчинення хрому в хлоридовмісних розчинах з рН6; 7; 8. Встановлено, що у хлоридовмісному розчині з рН6 коефіцієнти селективного розчинення хрому зі сталей AISI 321 та 12X18H10T відповідно становлять $Z_{Cr} = 1,5; 9,6; 6,4; 5,7; 4,3; 1,8$. Отже,

досліджені сталі кородують в активному стані. Слід зауважити, що плавка 1 сталі AISI 321 та сталь 12X18H10T мають коефіцієнти Z_{Cr} , близькі до одиниці. Відтак, враховуючи похибки вимірювання вмісту хрому та заліза як у сталі, так і у хлоридовмісному розчині після термостатування у них зразків, можна припустити, що ці сталі можуть кородувати як у активному, так і в пасивному стані. Останнє при досягненні сталлю критичної температури пітінгування є причиною пітінгової корозії. Варто зазначити, що в цьому хлоридовмісному розчині, крім хрому, на поверхні досліджених сталей ще інтенсивніше знижується вміст нікелю, оскільки коефіцієнти селективного розчинення нікелю відповідно становлять $Z_{Ni} = 22,7; 30,9; 105,6; 43,8; 119,8; 70,1$.

Зі збільшенням лужності хлоридовмісного розчину до pH7 спостережено зниження коефіцієнтів селективного розчинення хрому $Z_{Cr} = 2,4; 1,3; 4,9; 5,5; 1,0; 1,6$ зі сталей AISI 321 та 12X18H10T. Слід зауважити, що плавки 2; 5 сталі AISI 321 та сталь 12X18H10T можуть кородувати в перехідному стані. Отже, внаслідок цього є небезпека пітінгування цих сталей. При цьому у хлоридовмісному розчині з pH7 інтенсивність зростання пітінгів на поверхні досліджених сталей є більшою, ніж у розчині з pH6. Оскільки у хлоридовмісному розчині з pH7 коефіцієнти селективного розчинення нікелю зі сталей AISI 321 та 12X18H10T відповідно становлять $Z_{Ni} = 2,5; 5,4; 7,6; 9,1; 10,8; 8,4$, що в середньому у 78,6 раза менше, ніж у розчині з pH6.

Зі збільшенням лужності хлоридовмісного розчину до pH8 виявлено, що сталі AISI 321 та 12X18H10T кородують у стабільно активному стані, оскільки коефіцієнти селективного розчинення хрому відповідно становлять $Z_{Cr} = 13,4; 49,7; 77,3; 79,2; 15,3; 21,8$. Це унеможливило пітінгування досліджених сталей у цих умовах, але швидкість загальної корозії сталей зростає, адже коефіцієнти Z_{Ni} зросли і відповідно становлять 102; 62,4; 173,7; 72,7; 71,2; 136,8.

Встановлено, що у хлоридовмісних розчинах з pH6 корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 залежать від вмісту у ній хрому Cr та тимчасового опору деформації σ_b . Значущість коефіцієнтів кореляції $r_1 = 0,71$ між ΔNi та Cr і $r_1 = -0,71$ між ΔNi та σ_b перевірено за t -критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,10. Отже, розробимо прямолінійні регресійні залежності між цими величинами:

$$\Delta Ni = 10^{-6}(-37748 + 23256Cr) \quad r_1 = 0,71; \quad (27)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6}(22187 - 33,1\sigma_b) \quad r_1 = -0,71. \quad (28)$$

Аналіз формул (27, 28) показав, що корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають, коли в ній збільшується вміст хрому та знижується тимчасовий опір деформації. Згідно з формулою (27) та даними табл. 1, ΔNi сталі AISI 321 зростають на $29535 \cdot 10^{-6} mg$ зі збільшенням у ній вмісту хрому від 16,43 плавки 2 до 17,7 мас. % плавки 5. За

формулою (27) та даними табл. 2, ΔNi сталі AISI 321 знижуються на $2376 \cdot 10^{-6} mg$ зі збільшенням її тимчасового опору деформації від 582 плавки 4 до 654 mPa плавки 2. Відтак корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 в основному залежать від тимчасового опору деформації. Адже між ΔNi сталі AISI 321 та вмістом у ній вуглецю, мангану, силіцію, азоту, об'ємом оксидів, нітридів титану, середньою відстанню між ними, середнім діаметром зерна аустеніту, границею текучості і відносним подовженням встановлено ще меншу прямолінійну кореляцію з коефіцієнтами $r_1 = 0,33; -0,47; -0,28; 0,40; 0,11; -0,51; -0,17; -0,44; -0,30; -0,48; -0,31$.

У хлоридовмісному розчині з pH7 виявлено, що корозійні втрати нікелю ΔNi зі сталі AISI 321 залежать від об'єму нітридів титану V_H та середнього діаметра зерна аустеніту d_3 . Так, між ΔNi сталі AISI 321 та V_H і d_3 встановлено прямолінійну кореляцію з коефіцієнтами $r_1 = -0,95; -0,83$, які більші ніж критичне значення. Значущість коефіцієнтів кореляції між цими величинами перевірено за t -критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,05. Отже, запишемо аналітичні залежності між цими величинами:

$$\Delta Ni = 10^{-6}(4654 - 8333V_H) \quad r_1 = -0,95; \quad (29)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6}(5349 - 14286d_3) \quad r_1 = -0,83. \quad (30)$$

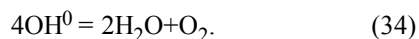
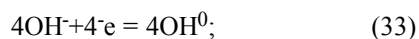
Згідно з формулами (29, 30), корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 зростають, коли зменшується в ній об'єм нітридів титану та середній діаметр зерна аустеніту. Об'єм нітридів титану та середній діаметр зерна аустеніту є характеристиками структурної гетерогенності сталі AISI 321. Оскільки корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 добре корелюють з цими параметрами, можна припустити, що цей процес найінтенсивніше відбувається в околі нітридів титану та межами зерен аустеніту. Такі показники гетерогенності сталі AISI 321, як середня відстань між оксидами і нітридами титану, об'єм оксидів, механічні показники σ_b , $\sigma_{0,2}$ і δ та хімічний склад не впливають на корозійні втрати нікелю. Адже коефіцієнти кореляції між цими величинами менші, ніж критичне значення $r_1 = (0,61)$ та відповідно становлять $r_1 = 0,20; -0,35; -0,14; -0,59; -0,55; -0,39; 0,02; -0,15; -0,53; 0,57; 0,59$.

Зі збільшенням лужності хлоридовмісного розчину до pH8 кінетика корозійного розчинення нікелю зі сталі AISI 321 дещо змінилася. Так, коефіцієнти прямолінійної кореляції між корозійними втратами нікелю зі сталі AISI 321 та середнім діаметром зерна аустеніту і її відносним подовженням збільшилися до 0,65 та -0,68. Значущість коефіцієнтів кореляції між цими величинами за t -критерієм Стьюдента не перевіряли. Однак враховуючи, що ці коефіцієнти кореляції більші, ніж критичне значення (0,61), розробимо прямолінійні регресійні залежності між вищезгаданими величинами:

$$\Delta Ni = 10^{-6}(-966 + 11111d_3) \quad r_1 = 0,65; \quad (31)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6}(5295 - 57,5\delta) \quad r_1 = 0,68. \quad (32)$$

Хоча залежності (31, 32) маловартнісні можна зазначити, що корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 зростають зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту та зменшенням її відносного подовження. Слід нагадати, що у хлоридовмісному розчині з рН7 корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321, навпаки, знижуються, коли зростає середній діаметр зерна аустеніту. Отже, механізм розчинення нікелю зі сталі AISI 321 залежить від рН хлоридовмісного розчину. Найвірогідніше в нейтральному хлоридовмісному розчині з рН7 зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту зростає кут між зернами, через це на границях зерен більше накопичується шкідливих домішок, які сегреговано межами зерен. Саме ці домішки уповільнюють анодний процес і, таким чином, знижують інтенсивність іонізації нікелю та відповідно швидкість його розчинення. Напевно, за аналогічним механізмом відбувається розчинення нікелю зі сталі AISI 321 на межі нітридів титану з аустенітною матрицею. Оскільки у хлоридовмісному розчині з рН7 корозійні втрати нікелю зі сталі AISI 321 знижуються, коли в ній збільшується об'єм нітридів титану (29). Зі збільшенням лужності хлоридовмісного розчину до рН8 у ньому зростає кількість розчиненого кисню. Оскільки відомо [11], що в розчинах, які містять хлорид та гідроксидіони, в анодному процесі, в першу чергу, беруть участь іони хлору. При цьому гідроксидіони відновлюються до гідроксидів (33). Однак у такому стані гідроксиди не можуть існувати тривалий час, тому що вони розкладаються з виділенням кисню і води (34):



Внаслідок цього зростають швидкість катодної реакції відновлення кисню та анодної реакції іонізації нікелю. Крім того, зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту сталі AISI 321, окрім зниження її відносного подовження, зменшується енергія іонізації нікелю. Порівняння перших похідних рівнянь (30, 31)

показало, що інтенсивність корозійних втрат нікелю зі сталі AISI 321 зі зміною середнього діаметра зерна аустеніту в хлоридовмісних розчинах з рН7 на 23 % більше, ніж у розчинах з рН8.

Після визначення кінетики корозійних процесів при розчиненні сталей AISI 321 у нейтральних хлоридовмісних розчинах розраховуємо швидкість їх корозії, враховуючи, в якому стані кородує сталь.

У хлоридовмісному розчині з рН8 сталі AISI 321 та 12X18H10T кородують в активному стані (табл. 4). Тому за формулою (4) розраховуємо швидкість їх загальної корозії. За результатами корозійних випробувань та розрахунків встановлено, що найменша швидкість загальної корозії 0,0058 у плавки 5 сталі AISI 321, а найбільша 0,0187 mm/рік у плавки 3 (табл. 4). Це в основному зумовлено тим, що плавка 5 сталі AISI 321 після плавки 1 має найменші корозійні втрати хрому і нікелю, а плавка 3 має найбільші корозійні втрати нікелю та друга за втратами хрому (табл. 3). Взагалі у цьому хлоридовмісному розчині корозійну стійкість досліджених сталей за десятибальною шкалою можна оцінити таким чином. Плавки 1; 5 сталі AISI 321 мають третій бал корозійної стійкості та характеризуються як дуже стійкі конструкційні матеріали. Плавки 2; 3; 4 сталі AISI 321 та 12X18H10T мають четвертий бал корозійної стійкості та характеризуються як стійкі матеріали.

У хлоридовмісному розчині з рН7 плавки 1; 3; 4 сталі AISI 321 кородують у стабільноактивному стані, а плавки 2; 5 та сталь 12X18H10T в активно-пасивному. Тому останні, крім загальної корозії, також піддаються пітингуванню. Розрахунковим шляхом встановлено, що плавка 2 сталі AISI 321 має найменшу 0,067, а сталь 12X18H10T – найбільшу 0,138 $\mu\text{m}/\text{год}$ середню швидкість зростання пітінгів. Таку тенденцію зумовлено тим, що сталь 12X18H10T на 100 полях зору мікроскопа містить тринадцять карбонітридів титану розміром від 7,9 до 11,85 μm , а плавка 2 сталі AISI 321 24 нітриди титану розміром від 7,9 до 11,85 μm та п'ять від 11,85 до 15,8 μm . Відомо [1], що біля таких вклю-

Таблиця 4 – Швидкість корозії сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмісних розчинах

Марка, плавка, №	Стан сталі у розчині			Загальна швидкість корозії, mm/рік			Середня швидкість зростання пітінгів, $\mu\text{m}/\text{год}$		
	рН6	рН7	рН8	рН6	рН7	рН8	рН6	рН7	рН8
AISI 321(1)	актив пас.	актив	актив	0,0037	0,0124	0,0081	0,020	0	0
AISI 321 (2)	актив	актив пас.	актив	0,0062	0,0149	0,0103	0	0,067	0
AISI 321 (3)	актив	актив	актив	0,0145	0,0223	0,0187	0	0	0
AISI 321 (4)	актив	актив	актив	0,0066	0,0247	0,0150	0	0	0
AISI 321 (5)	актив	актив пас.	актив	0,0139	0,0156	0,0058	0	0,018	0
12X18H10T	актив пас.	актив пас.	актив	0,0100	0,0163	0,012	0,120	0,138	0
Σ	–	–	–	0,0092	0,0177	0,0117	–	–	–

чень утворюються активні пітінги. До того ж, є дані [12], що чим більше на поверхні конструкційних матеріалів пітінгів, тим менша швидкість їх зростання у глибину.

Слід зауважити, що у хлоридовмісному розчині з рН7 швидкість загальної корозії сталей AISI 321 та 12X18H10T у 1,51 раза більше, ніж у хлоридовмісному розчині з рН8 та у 1,92 раза, ніж у хлоридовмісному розчині з рН6 (табл. 4). Відтак найбільшу швидкість загальної корозії сталей AISI 321 та 12X18H10T спостережено у хлоридовмісному розчині з рН7. У цьому хлоридовмісному розчині також встановлено максимальну швидкість зростання пітінгів у глибину (табл. 4). Це узгоджується з загальновідомими даними [12].

Узагальнюючи вищезгадане зауважимо, що знання кінетичних процесів корозійного руйнування сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмісних розчинах з концентрацією 300 mg/l уможливають вибір цих конструкційних матеріалів за оптимальним хімічним складом, структурою гетерогенністю і механічними властивостями щодо їх стійкості як до загальної, так і до пітінгової корозії в оборотних водах.

Висновки

У нейтральних хлоридовмісних розчинах з рН6;7;8 визначено кінетику корозійних процесів на поверхні сталей AISI 321 та 12X18H10T. Доведено, що у хлоридовмісному розчині з рН8 досліджені сталі кородують в активному стані. У хлоридовмісному розчині з рН6;7 сталь 12X18H10T кородує в активно-пасивному стані. Отже, вона піддалася пітінгуванню. Показано, що у хлоридовмісному розчині з рН7 швидкість зростання пітінгів у глибину є більшою, ніж у розчині з рН6. Встановлено, що у хлоридовмісному розчині з рН6 плавка 1, а у хлоридовмісному розчині з рН7 плавка 2;5 сталі AISI 321 також піддалися пітінгуванню. Взагалі виявлено, що у хлоридовмісному розчині з рН7 швидкість загальної корозії сталей AISI 321 та 12X18H10T у 1,92 раза більше, ніж у хлоридовмісному розчині з рН6, та у 1,51 раза, ніж у розчині з рН8. Показано, що корозійне руйнування сталей AISI 321 та 12X18H10T у досліджених хлоридовмісних розчинах зумовлено розчиненням заліза, хрому та нікелю. При цьому в хлоридовмісному розчині з рН7 корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ній кількості великих за розміром нітридів титану та зменшенням вмісту хрому. При цьому корозійні втрати хрому зростають зі зменшенням границі текучості та відносного подовження, а нікелю зі зменшенням об'єму нітридів титану та середнього діаметра зерна аустеніту. Встановлено, що у хлоридовмісному розчині з рН6 ко-

розійні втрати заліза зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають, коли збільшується середній діаметр зерна аустеніту. При цьому корозійні втрати хрому зростають зі збільшенням вмісту вуглецю та об'єму оксидів, а нікелю зі збільшенням вмісту хрому та зменшенням тимчасового опору деформації. Доведено, що у хлоридовмісному розчині з рН8 досліджені сталі кородують в активному стані. Встановлено, що корозійні втрати заліза зі сталі AISI 321 зростають зі зменшенням у ній вмісту хрому і границі текучості. При цьому корозійні втрати хрому та нікелю зі сталі AISI 321 зростають, коли зменшується її відносне подовження.

Перелік посилань

1. Нарівський О. Е. Мікромеханізм корозійного руйнування пластин теплообмінників / О. Е. Нарівський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – № 1. – С. 110–116.
2. Нарівський О. Е. Корозійне руйнування пластинчастих теплообмінників / О. Е. Нарівський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2005. – № 1. – С. 104–108.
3. Похмурський В. І. Корозійна втома металів і сплавів / В. І. Похмурський, М. С. Хома. – Львів : СПОЛОМ, 2008. – 301 с.
4. Архипов О. Г. Зв'язок структурно вибіркової корозії і корозійного розтріскування нержавних сталей / О. Г. Архипов // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – № 4. – С. 27–30.
5. Нарівський О. Е. Вплив гетерогенності сталі AISI 321 на її пітінгування у хлоридовмісному середовищі / О. Е. Нарівський / Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – № 2. – С. 100–106.
6. Данко П. Е. Высшая математика в упражнениях и задачах // П. Е. Данко, А. Г. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 415 с.
7. Нарівський О. Е. Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах : дисс. ... кандидата техн. наук : 05.17.14 / Нарівський Олександр Едуардович / Львів, 2009. – 209 с.
8. Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии : ГОСТ 6032-89(ИСО 3651/2-76). – [Действующий от 1990-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 41 с.
9. Корній С. А. Моделювання початкової стадії корозії металів із застосуванням квантово-хімічного підходу : автореф. дисс. на соиск. научн. степени канд. техн. наук / С. А. Корній. – Львів, 2003. – 20 с.
10. Технология металлов / [Кнорозов Б. В., Усов Л. Ф., Третьяков А. В. и др.] ; под ред. Б. В. Кнорозова. – [2-е изд.]. – М. : Металлургия, 1975. – 903 с.
11. Томаров М. А. Неорганическая химия // М. А. Тама-ров. – М. : Медицина, 1974. – 480 с.
12. Розенфельд И. Л. Коррозия и защита металлов // И. Л. Розенфельд. – М. : Металлургия, 1970. – 448 с.

Одержано 09.06.2010

Беликов С.Б., Наривский А.Э. Кинетика коррозионных процессов сталей AISI 321 и 12X18H10T в нейтральных хлоридсодержащих растворах и скорость их коррозии

Исследована кинетика коррозионного разрушения сталей AISI 321 и 12X18H10T в нейтральных хлоридсодержащих растворах. Установлено закономерности растворения железа, хрома и никеля из стали AISI 321 в хлоридсодержащих растворах с pH6;7;8 и концентрацией хлоридов 300 mg/l в зависимости от ее химического состава, структурой гетерогенности и механических свойств. Учитывая кинетику коррозионного разрушения исследованных сталей, рассчитаны скорость их общей и питтинговой коррозии.

Ключевые слова: питтинговая коррозия, нейтральный хлоридсодержащий раствор, скорость коррозии, кинетика коррозионного разрушения.

Belykov S., Narivs'kiy A. Kinetics of steel AISI 321 and 12X18H10T corrosion process in neutral chloride containing solutions and corrosion rate

The kinetics of steel AISI 321 and 12X18H10T corrosion in neutral chloride containing solutions was researched. The laws of iron, chromium and nickel steel AISI 321 dissolution in chloride containing solutions at pH6, 7, 8, and the concentration of chloride 300 mg/l, depending on its chemical composition, structure heterogeneity and mechanical properties were established. Using the investigated steels corrosion kinetics the general and pitting corrosion speed was calculated.

Key words: pitting corrosion, neutral chloride containing solution, the corrosion rate, the kinetics of corrosion.

УДК621.73.143:669.14.018.8

І. Ю. Кисільова¹, д-р техн. наук В. Ю. Ольшанецький²

¹ Національний університет, ² Національний технічний університет, м. Запоріжжя

ПРО ТЕОРЕТИЧНУ ОЦІНКУ РОЗПОДІЛУ ГУСТИНИ ДИСЛОКАЦІЙ У ФЕРИТНИХ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ СТАЛЯХ НА СТАДІЇ ЛІНІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ

Із застосуванням імовірнісного підходу отримано розподіл густини дислокацій у феритних корозійностійких сталях на стадії лінійного зміцнення у вигляді гаусівського (нормального) закону.

Ключові слова: густина дислокацій, розподіл, гаусівський (нормальний) закон.

Для поліпшення якості та ефективності використання листових хромистих корозійностійких сталей необхідно підвищувати їх технологічну пластичність. Оцінку деформованості таких матеріалів зазвичай проводять з урахуванням низки механічних властивостей. Однак ці методики не дозволяють із достатньою точністю оцінювати здатність металу до деформування і прогнозувати кількість браку при масовому виробництві. З цією метою в роботі досліджено розподіли параметрів тонкої структури та визначено можливі границі зміни їх значень; також зроблено спробу пов'язати розподіл характеристик тонкої структури з розподілами механічних властивостей, у першу чергу тих, що відповідають за якість пластичного деформування.

Спочатку розглянемо теоретичний підхід для розв'язання цього питання.

У роботі [1] отримано розподіл границі текучості сталі 03X18ТБч

$$f_1(\tau) = \frac{1}{S_\tau \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau - \bar{\tau}}{S_\tau} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де $\bar{\tau}$, S_τ – оцінки математичного сподівання та стандарту розподілу.

Пластичну деформацію викликає незворотне переміщення дефектів кристалічної ґратки – дислокацій. Перехід від пружної деформації до пластичної залежить від властивостей дислокацій, які, у свою чергу, визначаються характером зв'язків у кристалічній ґратці, типом кристалічної ґратки, наявністю в ній включень та дефектів іншої мірності. При пластичному деформуванні істотну роль відіграє не тільки рух, а