

УДК 620.193.4/620.197:669.15

## ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА СТРУКТУРНОЇ ГЕТЕРОГЕННОСТІ СТАЛІ AISI 321 НА КОРОЗИЙНЕ РОЗЧИНЕННЯ Cr, Ni ТА Fe У ХЛОРИДОВМІСНИХ РОЗЧИНАХ

Нарівський О. Е.

### INFLUENCE OF CHEMICAL ELEMENTS AND STRUCTURAL HETEROGENEITY STEEL AISI 321 FOR CORROSIVE DISSOLUTION OF Cr, Ni AND Fe IN CHLORIDE SOLUTIONS

Narivskiy O. E.

*Встановлено закономірності та механізми корозійного розчинення Cr, Ni та Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. Доведено, що Cr, Ni та Fe, здебільше, розчиняються границями зерен аустеніту. До того ж, складові структури сталі інтенсивніше впливають на корозійні втрати Cr, Ni та Fe зі сталі, ніж коливання її хімічного складу в межах стандарту. Показано, що великі за розміром включення катодно захищають сталь, а дрібні та карбіди, які розташовано границями зерен, анодно активують сталь.*

**Ключеві слова.** Корозійні втрати, оксиди, нітриди титану, розмір зерна аустеніту, селективне розчинення сталі.

**Вступ.** У виробництві теплообмінної апаратури та систем охолодження реакторів на атомних станціях найчастіше застосовують корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T. Це зумовлено як корозійною стійкістю цієї марки сталі у різноманітних середовищах, так і високою теплостійкістю. Однак сталь 12X18H10T має деякі недоліки, а саме здатність до пітингування в оборотних водах, які містять високу кількість хлоридів. Корозійностійку сталь AISI 321 вважають аналогом сталі 12X18H10T [1]. Попередні дослідження [2-4] та досвід застосування сталі AISI 321 у виробництві теплообмінної апаратури [5] показали, що ця корозійностійка сталь більш стійка до пітинга в оборотних водах, ніж сталь 12X18H10T. Пітингостійкість сталей у цих роботах оцінювали за критичною температурою пітингування,  $\Delta\phi$  - критерієм та потенціалом активації сталі. Однак закономірності та механізми, які визначають перевагу сталі AISI 321, на часі невідомі. Таким чином, метою дослідження є визначення закономірностей та механізмів корозійного розчинення сталі AISI 321 у модельній оборотній воді під осадом. До того ж, використовуючи закономірності корозійного розчинення Cr, Ni та Fe зі сталі та коефіцієнти участі включень у пітингуванні сталі AISI 321, які визначали у попередніх дослідженнях [5], можна визначити середню швидкість зростання пітингів. Рекомендації промисловості щодо середньої швидкості зростання

пітингів оптимізують терміни керування технологічним процесом експлуатації теплообмінної апаратури.

**Методика.** Зразки виготовляли з п'яти промислових плавок сталі AISI 321. Хімічний склад дослідження плавок сталі визначали рентгенівським методом на рентгенівському спектрометрі СРМ-25. На кожному зразку виконували по 15 вимірювань. Дисперсію відхилення вмісту хімічних елементів в сталі визначали за формулою (1)

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\frac{\sum_i x^2}{n} - \bar{x}^2}; \quad (1)$$

де  $\sigma_x^2$  - середньоквадратичне відхилення;

n – кількість випробувань;

x – вміст елемента в сталі, мас. %.

Статистичні дані про хімічний склад 5-ти плавок сталі AISI 321 надано [5]. Дисперсія відхилення результатів вимірювання відповідно складає для вуглецю 0,01; силіцію 0,01; мангану 0,007; хрому 0,006; нікелю 0,009 мас. %.

Зразки досліджуємих плавок сталі AISI 321 витримували впродовж 240 годин у хлоридовмісному розчині з рН 4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л при температурі 70 °С. Хлоридовмісні розчини з вищезгаданими параметрами отримували додаючи у водяний розчин  $MgCl_2$  хлорну кислоту HCl або гідроксид натрію NaOH.

Вміст заліза в розчинах після витримки зразків визначали за методикою, яка базується на взаємодії іонів двохвалентного заліза з 1,10 фенотроліном з утворенням червоного за кольором комплексу з максимальним світлопоглинанням 510 нм. Відновлення заліза (III) до заліза (II) проводили застосовуючи гідроксилонін.

Вміст хрому в розчинах після витримки в них зразків визначили за методикою, яка базується на реакції  $Cr^{+6}$  з наступним визначенням оптичної густини отриманої сполуки на КФК - 3 при  $\lambda = 540$  нм.

Вміст нікелю в розчинах визначили за методикою, яка базується на взаємодії іонів нікелю з

диметілглиоксином у слабкокисломому середовищі за присутності бромиду. При цьому утворювалася комплексна сполука від жовтого до червоного кольору залежно від концентрації нікелю. Фотометричним методом визначили оптичну густину сполуки при  $\lambda = 440$  нм.

Коефіцієнти селективного розчинення хрому та нікелю ( $Z_{Cr, Ni}$ ) визначили за формулою (2):

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

де  $\Delta m_{(Cr;Ni)}$  – вміст хрому та нікелю в розчинах після витримки в них зразків, мг;

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

$m_{(Cr;Ni)}$  – вміст хрому та нікелю в плавках сталі AISI 321, мас. %;

$m_{(Fe)}$  – вміст заліза в сталі, мас. %.

Прямолінійні регресійні залежності між вмістом заліза ( $\Delta Fe$ ), хрому ( $\Delta Cr$ ), нікелю ( $\Delta Ni$ ) у

розчинах після витримки зразків та вмістом хімічних елементів в плавках дослідженої сталі. ( $Ni$ ) і складовими їх структури ( $d_3$  – середній діаметр зерна аустеніту, мкм;  $V_{ок}$  – об'єм оксидів, об.%;  $V_n$  – об'єм нітридів титану, об.%,  $L_{ок}$  – середня відстань між оксидами, мкм,  $L_n$  – середня відстань між нітридами титану, мкм) визначали методом найменших квадратів за формулою (3) [6]:

$$\Delta Fe; \Delta Ni; \Delta Cr; = f(Ni, d_3, V_{ок}, L_{ок}, V_n, L_n); \quad (3)$$

Середній діаметр зерна аустеніту, об'єм оксидів, нітридів титану та середню відстань між ними визначили раніше [3-5].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Корозійні випробування сталі AISI 321 в хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л показали, що середня кількість Fe, яке розчинилося з поверхні зразків у 11,28 рази більше, ніж Cr. Слід зазначити, що кількість Ni, який розчинився зі сталі в 4,75 рази більше, ніж Cr.

Таблиця 1

**Корозійні втрати  $\Delta Fe$ ,  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$  зі сталі AISI 321 після витримки в хлоридовмісних розчинах з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л впродовж 240 годин при температурі 70 °С**

Параметри розчину		Хімічний елемент	Марка сталі, плавка №				
			1	2	3	4	5
pH	$C_{cl}$ ; мг/л		Корозійні втрати, мг·10 <sup>-6</sup>				
4	600	Fe	47528	5324	12722	12554	5996
		Cr	3922	796	900	275	1563
		Ni	21756	1621	2755	4599	4741

За коефіцієнтами селективного розчинення  $Z_{Cr}$  та  $Z_{Ni}$  оцінюють кінетику розчинення Cr та Ni з поверхні сталі. Відомо [7], що при  $Z_{Cr, Ni} \leq 1$  кількість Cr та Ni на поверхні сталі більше, ніж в об'ємі. Крім того, чим менше значення цього коефіцієнту за одиницю, тим більше вміст Cr та Ni на поверхні сталі. За результатами розрахунків визначено коефіцієнти селективного розчинення  $Z_{Cr}$  та  $Z_{Ni}$ :

- у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л  $Z_{Cr} = 0,35; 0,66; 0,29; 0,10; 1,04; Z_{Ni} = 3,4; 2,4; 1,6; 2,8; 6,2$ .

Слід зазначити, що  $Z_{Cr}$  п'ятої плавки взагалі більше за одиницю. Це свідчить, що вміст Cr на поверхні сталі дещо менше, ніж в її об'ємі. Такі тенденції зумовлено як хімічним складом п'яти плавок сталі AISI 321 в межах стандарту, так і їх структурною гетерогенністю. Кореляційним та регресивним аналізом результатів дослідження встановлено, що корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН4 і

концентрацією хлоридів 600 мг/л за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ній об'єму нітридів титану (4) та середнього діаметру зерна аустеніту (5).

$$\Delta Cr = 10^{-6} (-2640,9 + 12500V_n); \quad r = 0,79 \quad (4)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6} (-3512 + 20000d_3); \quad r = 0,74 \quad (5)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції регресивних залежностей (4; 5) оцінено за t-критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,10. Відтак, аналітичні залежності (4; 5) адекватно описують корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 залежно від об'єму нітридів титану та середнього діаметру зерна аустеніту.

Графічним аналізом встановлено, що в хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л  $\Delta Cr$  сталі AISI 321 за гіперболічною закономірністю знижується зі збільшенням у ній вмісту C, Ni і об'єму оксидів та зростає зі збільшенням вмісту Mn (рис. 1а, б, е, ж).

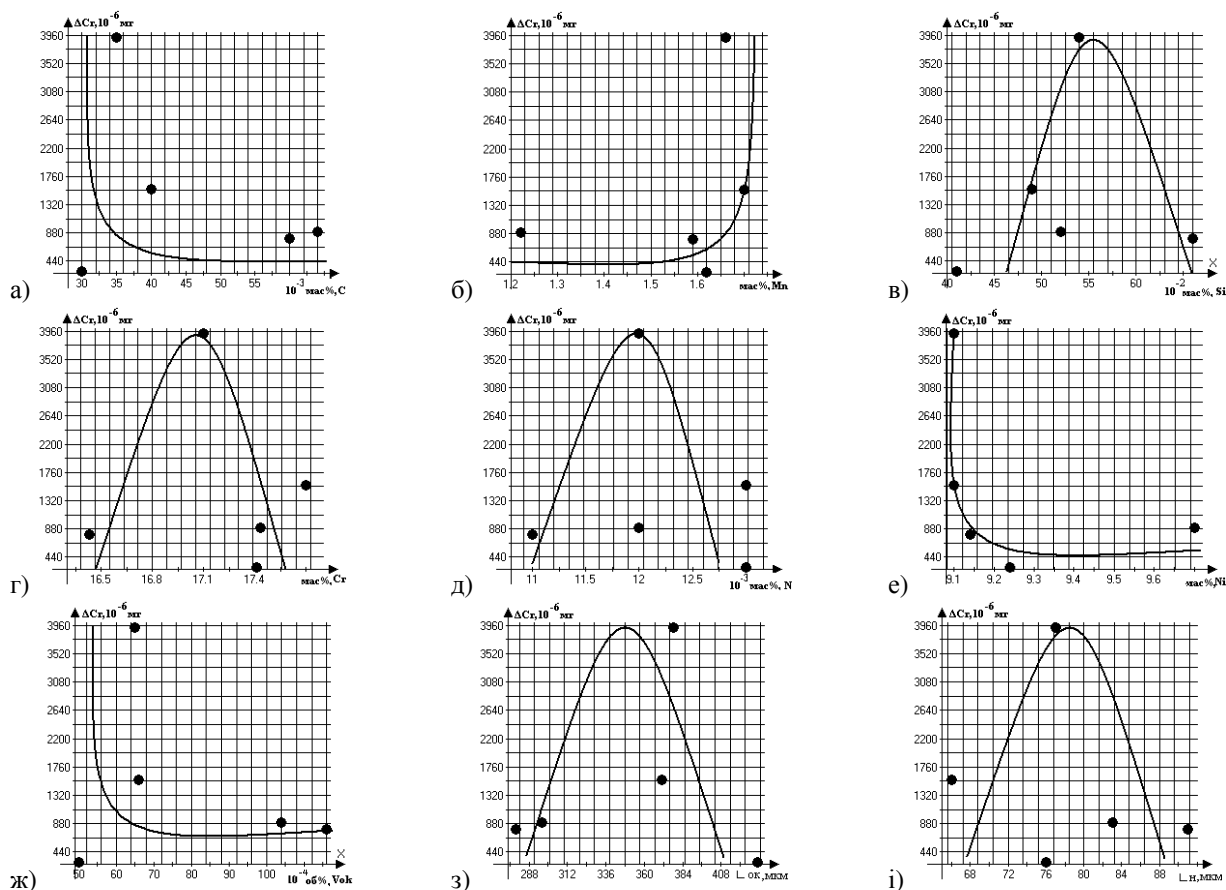


Рис.1. Корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині pH 4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л залежно від вмісту: а)- вуглецю; б)- мангану; в)- сіліцію; г)- хрому; д)- азоту; е)- нікелю; ж)- об'єму оксидів (Vok); з)- середньої відстанні між оксидами (Lок); і)- середньої відстанні між нітридами титану (Ln).

Найбільші корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 спостережено при вмісті в ній C до 0,040, а Ni до 9,3 мас.% (рис. 1а, е). Наступне збільшення вмісту C до 0,065 та Ni до 9,7 мас.% майже не впливає на корозійні втрати Cr. Найвірогідніше C і Ni до певної концентрації стабілізують аустенітну структуру і внаслідок цього знижують корозійні втрати Cr зі сталі. Азот та манган також є аустенітотвірними елементами, але впливають на корозійні втрати Cr зі сталі за дещо іншим механізмом. Адже з аналізу рівнянь (4, 5) та закономірностей (рис. 1 б - і) можна запропонувати механізм, за яким корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 змінюються залежно від вмісту в ній Mn, Si, Cr, N та величин, які характеризують її структуру. А саме Mn, Si, Cr є карбідотвірними, а N нітридотвірним елементом, які до певного вмісту в сталі збільшують кількість карбонітридів титану, що розташовані границями зерен. Через це границями зерен зростає ступінь некогерентності між ґратками, що сприяє зростанню корозійних втрат Cr. Наступне збільшення вмісту цих елементів сприяє зростанню розмірів карбонітридів титану. На великих карбонітридах титану відновлюється водень, що знижує його перенапругу. Внаслідок цього зростає струм катодної та анаодної реакції відповідно.

Кореляційним та регресивним аналізом результатів корозійних випробувань сталі AISI 321 з даними металографічного аналізу [5] встановлено, що в хлоридовмісному розчині з pH4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л корозійні втрати Ni з поверхні зразків за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням в сталі об'єму нітридів титану (б) та середнього діаметру зерна аустеніту (7).

$$\Delta Ni = 10^{-6} (-13758 + 50000V_n); \quad r = 0,75 \quad (6)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6} (-18667 + 100000d_3); \quad r = 0,73 \quad (7)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції рівнянь (6; 7) оцінено за t-критерієм Стюдента з рівнем значущості 0,10. Таким чином, рівняння (6; 7) адекватно описують корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 залежно від об'єму нітридів титану та середнього діаметру зерна аустеніту. З аналізу закономірностей (6; 7) та даних (рис. 2з) виходить, що чим більше об'єм дрібних нітридів титану в сталі, тим більше корозійні втрати Ni з її поверхні.

Показано, що корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 знижуються за гіперболічною закономірністю зі збільшенням середньої відстані між нітридами титану (рис. 2з). Отже, чим більше

розміри нітридів титану, тим менше Ni розчиняється з поверхні сталі. Таким чином, враховуючи закономірність (7) та вищезгадані міркування можна припустити, що дрібні нітриди титану розташовано границями зерен аустеніту. Крім того, чим більше середній діаметр зерна аустеніту, тим більше

некогерентність між суміжними ґратками зерен і тим більше дрібних нітридів титану розташовано у цих місцях. Останнє сприяє зростанню локальних напружень границями зерен та збільшенню розчинення Ni.

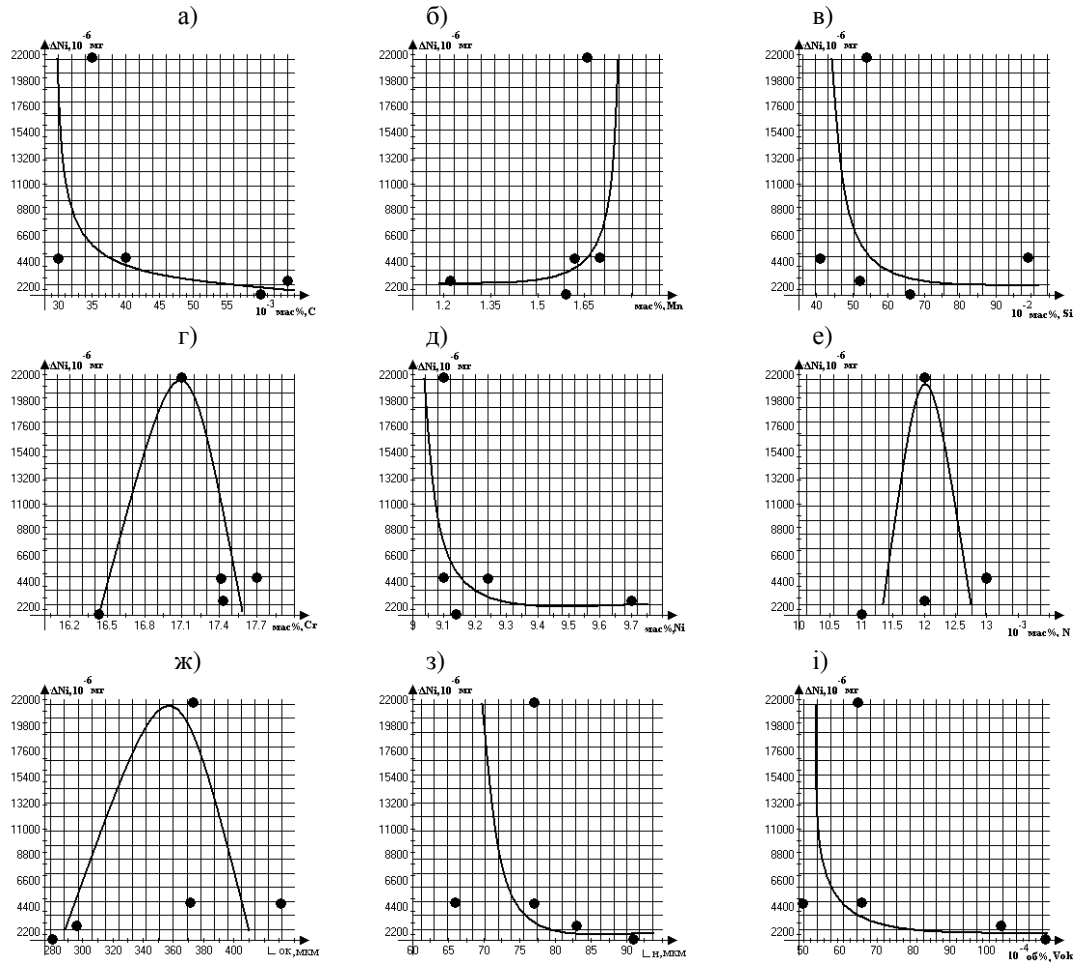


Рис.2. Корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від вмісту: а) – вуглецю; б) – мангану; в) – сіліцію; г) – хрому; д) – нікелю; е) – азоту; ж) – середньої відстані між оксидами (Lok); з) – середньої відстані між нітридами титану(Ln); і) - об'єму оксидів(Vok).

Такі висновки також підтверджуються даними (рис. 2ж), тому що дрібні оксиди до певного розміру сприяють зростанню корозійних втрат Ni. Однак наступне збільшення середньої відстані між оксидами від 350 до 431 мкм і, таким чином, збільшення їх розміру сприяє суттєвому зниженню корозійних втрат Ni з поверхні сталі (рис. 2ж). Взагалі чим більше об'єм оксидів в сталі AISI 321, тим менше корозійні втрати Ni (рис. 2і). Зокрема можна припустити, що на великих за розміром нітридах титану та оксидах зростає перенапряга іонізації водню і, таким чином, зменшується величина катодного та відповідно анодного струму. Варто зазначити, що корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 знижуються зі збільшенням у ній вмісту Ni. Найінтенсивніше цей процес відбувається при

вмісті Ni до 9,3 мас.%. Однак наступне збільшення вмісту Ni в сталі до 9,7 мас.% не впливає на корозійні втрати Ni (рис. 2д). Вуглець за аналогічною закономірністю впливає на корозійні втрати Ni зі сталі у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. Найінтенсивніше це спостережено при вмісті вуглецю до 0,04 мас.% (рис. 2а). Наступне збільшення вмісту вуглецю в сталі майже не впливає на корозійні втрати Ni з її поверхні. Манган та азот, як і Ni та С, також є аустенітотвірними елементами, але вплив цих елементів на розчинення Ni з поверхні сталі дещо інший. Адже при вмісті Mn в сталі від 1,22 до 1,60 мас.%, а N до 0,012 мас.% (рис. 2б, е) корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 майже не змінюються. Проте наступне збільшення вмісту Mn до 1,7, а N до

0,013 мас.% суттєво інтенсифікує розчинення Ni зі сталі внаслідок того, що границями зерен випадають карбонітриди, до складу яких входять ці елементи. Напевно й Cr при вмісті в сталі до 17,1 мас.% за аналогічним механізмом сприяє зростанню розчинення Ni (рис. 2г). Однак зі збільшенням вмісту Cr до 17,7 мас.% на поверхні сталі утворюється більш щільна оксидна плівка, до складу якої також входить Si (рис. 2в).

Кореляційним та регресивним аналізом встановлено, що корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ній об'єму нітридів титану (8) та середнього діаметру зерна аустеніту (9).

$$\Delta Fe = 10^{-6} (-20991 + 100000V_n); r = 0,74 \quad (8)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (-72900 + 384615d_3); r = 0,79 \quad (9)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції рівнянь (8; 9) оцінено за t-критерієм Стюдента з рівнем

значущості 0,10. Отже, рівняння (8; 9) адекватно описують вплив об'єму нітридів титану та середнього діаметру зерна аустеніту на корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. З аналізу формули (9) виходить, що чим більше середній діаметр зерна аустеніту, тим більше некогерентність суміжних ґраток зерна і тим більше дрібних нітридів титану та оксидів накопичується границями зерен. Саме через це границями зерен зростає розчинення Fe. Аналіз даних (рис. 3 ж; з) показав, що чим більше середня відстань між нітридами титану та від 340 мкм між оксидами, тим менше корозійні втрати Fe зі сталі. Найвиросітніше це зумовлено тим, що на великих за розміром нітридах титану та оксидах зростає перенапряга іонізації водню. Через це знижується струм катодної та відповідно анодної реакції.

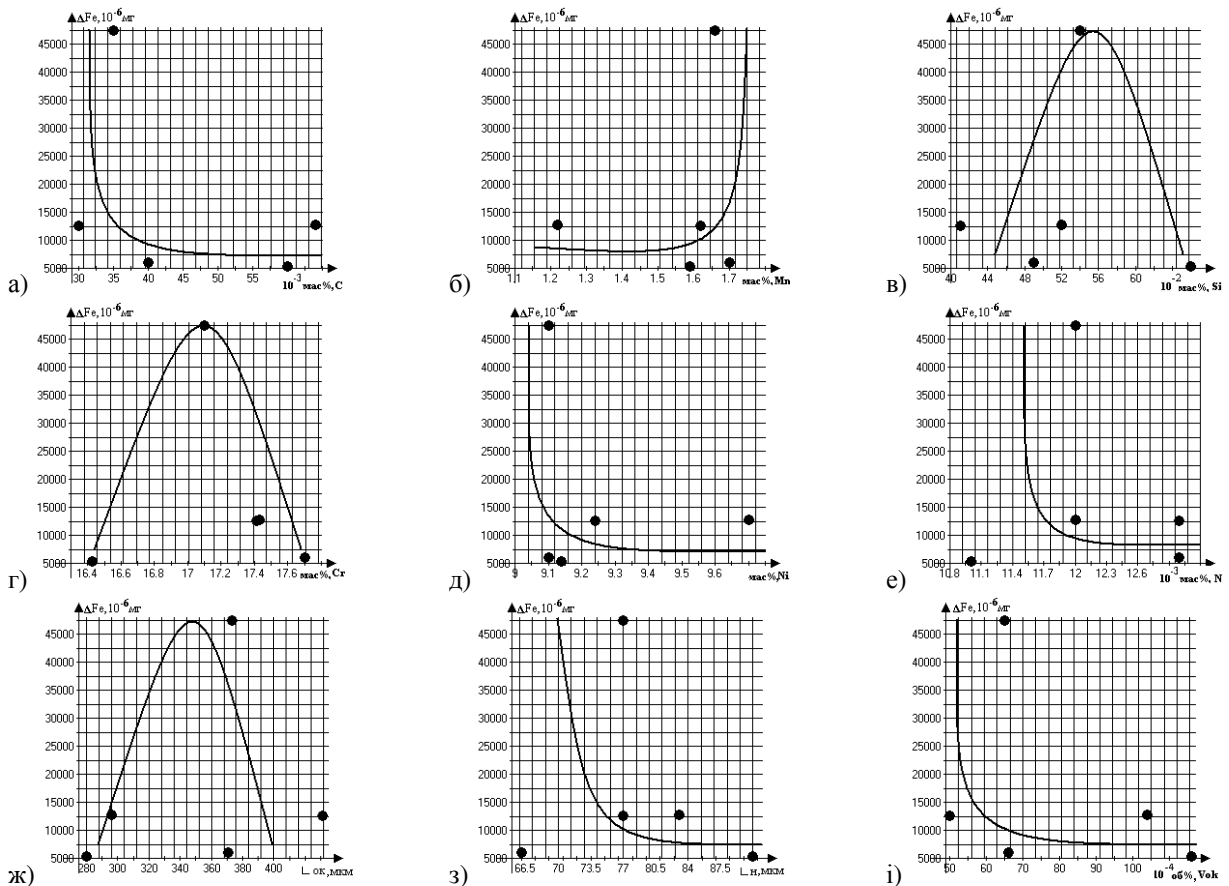


Рис.3 Корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від вмісту: а) – вуглецю; б) – мангану; в) – сіліцію; г) – хрому; д) – нікелю; е) – азоту; ж) – середньої відстані між оксидами (Lок); з) – середньої відстані між нітридами титану(Lн); і)- об'єму оксидів(Vок).

Взагалі з аналізу даних (рис.3 ж; і) виходить, що оксиди, які розташовано в зерні, знижують корозійні втрати Fe зі сталі. До того ж, чим більше ступінь гомогенності аустеніту, тим менше Fe розчиняється зі сталі, тому що ΔFe за гіперболічною

закономірністю знижуються зі збільшенням в сталі вмісту C, Ni, N, які є аустенітотвірними елементами (рис. 3а; д; е). Манган також є аустенітотвірним елементом, але за впливом на корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН4 і

концентрацією хлоридів 600 мг/л дещо відрізняється від вищезгаданих елементів. Адже розчиняючись у твердому розчині аустеніту Mn при вмісті в сталі до 1,6 мас.% майже не впливає на  $\Delta Fe$ . Проте при вмісті від 1,6 до 1,66 мас.% решта Mn випадає границями зерен аустеніту в складі складних карбідів (рис. 3б). Вірогідно саме за цим механізмом Cr при вмісті в сталі до 17 мас.% та Si до 0,54 мас.% сприяють зростанню корозійних втрат Fe зі сталі (рис. 3в; г). Однак наступне зростання вмісту Cr до 17,7, а Si до 0,66 мас. % сприяє зміцненню оксидної плівки на поверхні сталі AISI 321. Через це знижуються корозійні втрати Fe.

**Висновки.** За результатами корозійних випробувань, кореляційного, регресивного та графічного аналізу встановлено закономірності та механізми корозійного розчинення Cr, Ni та Fe зі сталі AISI 321 у слабкокислому хлоридовмісному розчині з концентрацією хлоридів 600 мг/л, а саме:

- Корозійні втрати Cr зі сталі зв'язані прямою лінійною закономірністю зростають за збільшенням об'єму нітридів титану та середнього діаметру зерна аустеніту. Водночас  $\Delta Cr$  за гіперболічною закономірністю знижується зі збільшенням у сталі вмісту C, Ni, об'єму оксидів та зменшенням вмісту Mn. Це зумовлено тим, що C і Ni до певної концентрації стабілізують аустенітну структуру сталі, а Mn, Si, Cr і N входять до складу карбонітридів, які активують границями зерен розчинення Cr зі сталі. До того ж, на великих за розміром карбонітридах титану знижується перенапруга іонізації водню та збільшується катодний і анодний струм.

- Корозійні втрати Ni зі сталі, як і Cr, за прямою лінійною закономірністю зростають зі збільшенням об'єму нітридів титану та середнього діаметру зерна аустеніту. Це зумовлено тим, що дрібні нітриди титану, які розташовані границями зерен аустеніту, локально активують сталь в цих місцях. Однак великі за розмірами оксиди та нітриди титану катодно захищають сталь від розчинення Ni з її поверхні. Вуглець та нікель знижують корозійні втрати Ni зі сталі внаслідок стабілізації аустенітної структури. Манган, азот та хром при вмісті до 17,1 мас.% утворюють складні карбонітриди титану, які анодно активують сталь границями зерен, що сприяє розчиненню Ni. Однак наступне збільшення вмісту Si та Cr до 17,7 мас.% знижує корозійні втрати Ni зі сталі внаслідок зміцнення оксидної плівки.

Корозійні втрати Fe зі сталі за прямою лінійною закономірністю зростають зі збільшенням об'єму нітридів титану та середнього діаметру зерна аустеніту. Зокрема дрібні оксиди та нітриди титану, які розташовані границями зерен, анодно активують сталь та збільшують корозійні втрати Fe. Великі за розміром включення катодно захищають сталь і, таким чином, знижують корозійні втрати Fe. Вуглець, нікель і азот внаслідок стабілізації аустеніту знижують корозійне розчинення Fe. При цьому Mn та Cr до певної концентрації в сталі

збільшують корозійні втрати Fe внаслідок випадіння карбідів границями зерен. Однак наступне збільшення вмісту цих елементів зміцнює оксидну плівку і, таким чином, знижують корозійні втрати Fe зі сталі.

#### Л і т е р а т у р а

1. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови : СОУМПП 71.120-217-2009. - [Чинний від 2009-07-07]. - К. : Мінпромполітики України, 2009. - 339 с. - (ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр сертифікації та якості»).
2. Исследование склонности стали 12X18H10T по точечно - язвенной и щелевой коррозии в нейтральных средах применительно к разборным пластинчатым теплообменникам : отчет о НИР : 84-081 / УкрНИИХиммаш ; рук. В. А. Качанов ; исполн. Д. Г. Никитин. - Х., 1985. - 77 с. - Инв. №292280.
3. Нарівський О. Е. Вплив гетерогенності сталі AISI 321 на її пittingостійкість у хлоридовмісному середовищі / О. Е. Нарівський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2007. - №2. - С.100-106.
4. Нарівський О. Е. Вплив неметалевих включень на електрохімічні показники сталі AISI 321 у хлоридовмісних середовищах / О. Е. Нарівський // Сб. докл. 8-го Международного конгресса «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов». - 2007. - Т. 2. - С. 132-135.
5. Нарівський О. Е. Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах : дис. канд. тех. наук : 05.17.14 / Олександр Едуардович Нарівський. - Л., 2009. - 209 с.
6. Данко П. Е. Высшая математика в упражнениях и задачах / П. Е. Данко, А. Г. Попов. - М. : Высш. шк., 1986. - 415 с.
7. Колотыркин Я. М. Успехи и задачи развития теории коррозии / Я. М. Колотыркин // Защита металлов. - 1980. - Т. 16, № 6. - С. 660-673.

#### R e f e r e n c e s

1. Posudini ta aparati stalevi zvarni. Zagal'ni tehnicni umovi : SOUMPP 71.120-217-2009. - [Chinnij vid 2009-07-07]. - K. : Minprompolitiki Ukraïni, 2009. - 339 s. - (DP «Ukraïns'kij naukovo-doslidnij i navchal'nij certifikacij ta jakosti»).
2. Issledovanie sklonnosti stali 12H18N10T po tochechno - jazvennoj i shhelevoj korrozii v nejtral'nyh sredah primenitel'no k razbornym plastinchatym teploobmennikam : otchet o NIR : 84-081 / UkrNIHimmash ; ruk. V. A. Kachanov ; ispoln. D. G. Nikitin. - H., 1985. - 77 s. - Inv. №292280.
3. Narivs'kij O. E. Vpliv geterogennosti stali AISI 321 na її pitingostijkist' u hloridovmisnomu seredovishhi / O. E. Narivs'kij // Fiziko-himichna mehanika materialiv. - 2007. - №2. - S.100-106.
4. Narivs'kij O. E. Vpliv nemetalevih vključen' na elektrohimični pokazniki stali AISI 321 u hloridovmisnih seredovishhah / O. E. Narivs'kij // Sb. dokl. 8-go Mezhdunarodnogo kongressa «Oborudovanie i tehnologii termicheskoj obrabotki metallov i splavov». - 2007. - T. 2. - S. 132-135.
5. Narivs'kij O. E. Korozijno-elektrohimična povedinka konstrukcijnih materialiv dlja plastinchatih teploobminnikiv u model'nih obrrotnih vodah : dis. ... kand. teh. nauk : 05.17.14 / Oleksij Eduardovich Narivs'kij. - L., 2009. - 209 s.

6. Danko P. E. Vysshaja matematika v uprazhnenijah i zadachah / P. E. Danko, A. G. Popov. - M. : Vyssh. shk., 1986. - 415 s.
7. Kolotyrykin Ja. M. Uspehi i zadachi razvitija teorii korrozii / Ja. M. Kolotyrykin // Zashhita metallov. - 1980. -Т. 16, № 6. - S. 660-673.

**Наривский А. Э. Влияние химических элементов и структурной гетерогенности стали AISI 321 на коррозионное растворение Cr, Ni и Fe в хлоридсодержащих рас творах.**

*Установлены закономерности и механизмы коррозионного растворения Cr, Ni и Fe из стали AISI 321 в хлоридсодержащем растворе с рН4 и концентрацией хлоридов 600 мг/л. Доказано, что Cr, Ni и Fe, в основном, растворяются по границам зерен аустенита. К тому же составляющие структуры стали интенсивней влияют на коррозионные потери Cr, Ni и Fe из стали, чем изменение ее химического состава в пределах стандарта. Показано, что большие по размерам включения катодно защищают сталь, мелкие и карбиды, расположенные по границам зерен, анодно активируют.*

**Ключевые слова.** Коррозионные потери, оксиды, нитриды титана, размер зерна аустенита, селективное растворение стали.

**Narivskyi O. E. Influence of chemical elements and structural heterogeneity steel AISI 321 for corrosive dissolution of Cr, Ni and Fe in chloride solutions**

*The regularities and mechanisms of corrosion dissolution of Cr, Ni and Fe in steel AISI 321 in chloride solution with pH4 and chloride concentration of 600 mg / l. Proved that Cr, Ni and Fe, mainly dissolved austenite grain boundary. Moreover, the structure of the components have been intensively affect the corrosion losses Cr, Ni and Fe in steel than a change in its chemical composition within the standard. It is shown that the large-size inclusions cathode protect steel, small and carbides, located along the grain boundaries of the anode activated.*

**Keywords.** Corrosion losses, oxides, nitrides, titanium, austenite grain size, the selective dissolution of steel.

**Нарівський Олександр Едуардович** – к.т.н., заступник генерального директора з наукових питань ПрАТ «Азовський машинобудівний завод» м. Бердянськ

*Рецензент:* Глікі́н М. А. - д.т.н., професор

Стаття подана 04.11.2013