

УДК 620.193.4/620.197:669.15

© Нарівський О.Е.*

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА МЕХАНІЗМИ КОРОЗІЙНОГО РОЗЧИНЕННЯ
СТАЛІ AISI 321 У СЛАБОКИСЛОМУ ХЛОРИДОВМІСНОМУ РОЗЧИНІ**

В статті досліджено закономірності та встановлено механізми корозійного розчинення Cr, Ni та Fe із сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. Показано, що структурна гетерогенність інтенсивніше впливає на корозійні втрати сталі, ніж коливання її хімічного складу в межах стандарту.

Ключові слова: хлоридовмісне середовище, структурна гетерогенність, корозійні втрати, корозійностійка сталь, пітінгова корозія.

Наривский А.Э. Закономерности и механизмы коррозионного растворения стали AISI 321 в слабокислом хлоридсодержащем растворе. В статье исследованы закономерности и установлены механизмы коррозионного растворения Cr, Ni и Fe из стали AISI 321 в хлоридсодержащем растворе с рН5 и концентрацией хлоридов 600 мг/л. Показано, что структурная гетерогенность интенсивней влияет на коррозионные потери стали, чем колебания ее химического состава в пределах стандарта.

Ключевые слова: хлоридсодержащая среда, структурная гетерогенность, коррозионные потери, коррозионно-стойкая сталь, питтинговая коррозия.

O.E. Narivskiy. Regularities and mechanisms of corrosion dissolution of steel AISI 321 in weak acid chloride solution. The paper investigates the regularities and mechanisms of corrosion dissolution of Cr, Ni and Fe in steel AISI 321 in chloride solution with рН5 and chloride concentration of 600 mg/l. It was shown that structural heterogeneity had more intense corrosive effect on the loss of steel than its chemical composition variations within the standard.

Keywords: chloride containing solution, structural heterogeneity, corrosion losses, corrosion-resistant steel, pitting corrosion.

Постановка проблеми. При експлуатації теплообмінного обладнання теплообмінні елементи з боку оборотної води часто піддаються пітінгуванню. Товщина теплообмінних труб або пластин залежно від конструкції теплообмінника складає від 0,4 до 2 мм. Тому перфорацію теплообмінних елементів обладнання від пітінгу спостерігають через місяць від часу зародження пітінгів. Цю статтю присвячено дослідженню закономірностей та визначенню механізмів корозійного розчинення основних легувальних елементів і заліза зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. Хлоридовмісне середовище з такими параметрами є моделлю оборотної води під осадом, що адсорбується на поверхні теплопередавальних елементів теплообмінної апаратури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пітінгостійкість матеріалів теплообмінного обладнання оцінюють за $\Delta\phi$ - критерієм [1;2] та за критичною температурою пітінгування [3-7]. Систематичні дослідження у цьому напрямку проводили Качанов В.Я. («УкрНДІхіммаш»), Ведь М.В., Капустенко П.А., Желавський С.Г. (Харківський політехнічний інститут), Нарівський О.Е. ПАТ завод «Павлоградхіммаш» та Беліков С.Б. (Запорізький національний технічний університет). Застосування результатів дослідження у промисловості дозволили запобігти претензіям від замовників щодо пітінгової корозії пластинчастих теплообмінників у гарантійний період. Однак підприємства, що застосовують теплообмінне обладнання у технологічних процесах вимагають від виробника цієї продукції даних про швидкість зростання пітінгів у часі, оскільки відсутність такої інформації дещо обмежує об'єми виробництва продукції. Таким чи-

* канд. техн. наук, заступник генерального директора з наукових питань ПАТ «Азовський машинобудівний завод», м. Бердянськ

ном, дослідження у цьому напрямку є перспективним як з практичної, так і з наукової точки зору.

Викладення основного матеріалу. Кінетику корозійного розчинення корозійностійких сталей визначають за коефіцієнтами селективного розчинення Cr та Ni, які визначають 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 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. %.

Вміст Cr, Ni та Fe у розчинах після витримки в них зразків із п'яти плавок сталі AISI 321 визначали за методикою [8].

Дані про корозійні втрати Cr, Ni та Fe із сталі AISI 321 надано в таблиці.

Таблиця

Корозійні втрати ΔFe , ΔCr , ΔNi зі сталі AISI 321 після витримки в хлоридовмісних розчинах з рН 5 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
рН	C_{cl} ; мг/л		Корозійні витрати, $мг \cdot 10^{-6}$				
5		Fe	5785	5091	5862	6324	7175
		Cr	275	165	199	171	275
		Ni	1905	588	2472	1763	1763

Відомо [9], що при $Z_{Cr, Ni} \leq 1$ кількість Cr та Ni на поверхні сталі більше, ніж в об'ємі. За результатами розрахунків (1) за даними таблиці визначено коефіцієнти Z_{Cr} та Z_{Ni} для п'яти плавок сталі AISI 321:

$$Z_{Cr} = 0,20; 0,14; 0,14; 0,11; 0,15;$$

$$Z_{Ni} = 2,59; 0,91; 3,09; 2,15; 1,92.$$

Коефіцієнти селективного розчинення Cr п'яти плавок сталі AISI 321 менші за одиницю. Отже, кількість Cr на поверхні зразків зросла щодо до його вмісту в об'ємі.

Коефіцієнт селективного розчинення Ni другої плавки сталі AISI 321 менше за одиницю. Отже, на поверхні зразка з цієї плавки збільшився вміст Ni, а решти плавок - навпаки. Це зумовлено хімічним складом сталі в межах стандарту та її структурною гетерогенністю.

Кореляційним та регресивним аналізом результатів випробувань встановлено, що корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л за прямолінійною закономірністю зростають зі зменшенням у ній вмісту P(2) та зі збільшенням середньої відстані між нітридами титану (3).

$$\Delta Cr = 10^{-6} (1414-50000P); \quad r = -0,74; \quad (2)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6} (561,87+4,38Ln); \quad r = 0,74. \quad (3)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції регресійних залежностей (2; 3) оцінено за t-критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,10. Таким чином, рівняння (2; 3) адекватно описують корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л залежно від вмісту у ній P на середній відстані між нітридами титану. Фосфор є поверхнево-активним елементом, який здатний до сегрегації границями зерен. Навпевно через це фосфор блокує розчинення Cr зі сталі границями зерен. Вірогідно така тенденція має місце при розмірі зерна аустеніту до 252 мкм (рис. 1к), тому що до цього значення середнього діаметру зерна аустеніту корозійні втрати Cr зі сталі знижуються. Проте наступне збільшення середнього ді-

метру зерна аустеніту до 312 мкм сприяє зростанню корозійних втрат Cr зі сталі AISI 321. Найвірогідніше, це зумовлено зростанням некогерентності ґраток між суміжними зернами аустеніту.

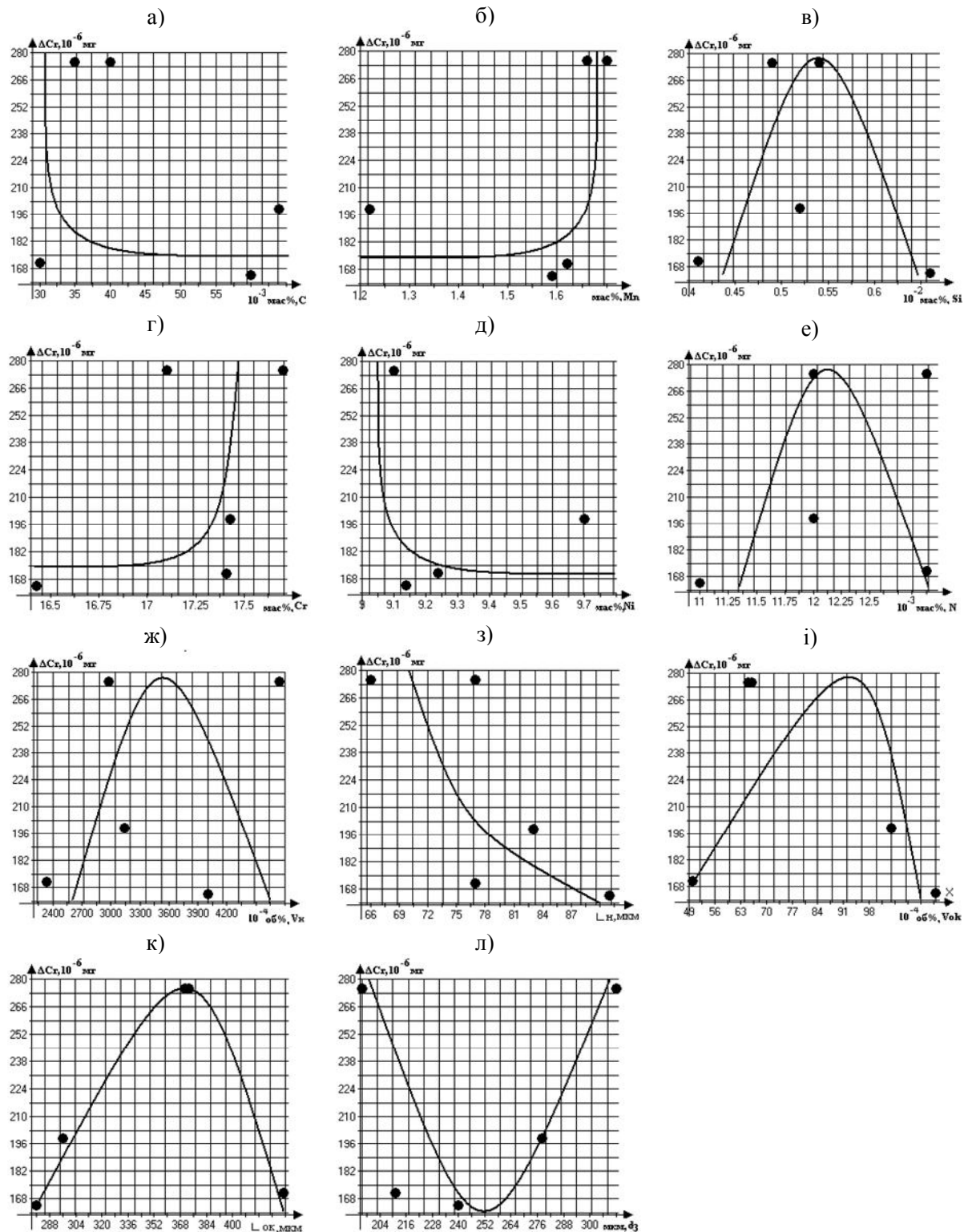


Рис. 1 – Корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині pH 5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л залежно від вмісту: а) - вуглецю; б) - мангану; в) - силіцію; г) - хрому; д) - нікелю; е) - азоту; ж) об'єму нітритів титану; з) - середньої відстані між нітридами титану(L_n); и) - об'єму оксидів(V_{ok}); к) - середньої відстані між оксидами(L_{ok}); л) - середнього діаметру зерна аустеніту(d_3)

З аналізу формули (3) виходить, що чим більше середня відстань між нітридами титану, тим більше корозійні втрати Cr зі сталі. Слід зазначити, що чим більше середня відстань між нітридами титану в сталі, тим більше їх розмір. Відтак на великих за розміром нітридах титану знижується перенапряга іонізації водню і, таким чином, зростає струм катодної та відповідно анодної реакції. Внаслідок цього зростає іонізація Cr. Такий висновок узгоджується з відомими даними [10].

З аналізу даних (рис. 1, ж) виходить, що корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 спочатку за параболічною закономірністю знижуються зі збільшенням об'єму нітридів титану до 0,32 об.%, а потім зростають зі збільшенням вмісту останніх до 0,47 об.%. Найвірогідніше це зумовлено тим, що дрібні нітриди титану розташовано границями зерен аустеніту. Через це в цих місцях збільшуються локальні напруження та внаслідок цього зростає анодний струм та відповідно збільшується ступінь іонізації Cr у сталі. Такі висновки підтверджуються тим, що плавки 1; 5 мають найдрібніші нітриди титану та найбільші корозійні втрати Cr зі сталі. Виявлено, що розмір оксидів, які входять до складу сталі AISI 321, та їх об'єм за параболічною закономірністю впливають на корозійні втрати Cr зі сталі (рис. 1 з; і). Спочатку корозійні втрати Cr зростають зі збільшенням середньої відстані між оксидами від 296 до 368 мкм та їх об'єму від 0,005 до 0,008 об.%, а потім знижуються зі збільшенням середньої відстані між оксидами до 431 мкм та їх об'єму до 0,0116 об.%. Таку закономірність зумовлено тим, що при збільшенні кількості та об'єму дрібних оксидів, які розташовано границями зерен, зростають локальні напруження у цих місцях. Внаслідок цього зростає анодний струм, що збільшує корозійні втрати Cr. Однак більші за розміром оксиди катодно захищають сталь AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л.

Вуглець та нікель є аустенітотвірними елементами. Вірогідно внаслідок цього зі збільшенням вмісту цих елементів знижуються корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 (рис. 1 а, д).

Манган та азот також є аустенітотвірними елементами в сталі. Однак при вмісті Mn у сталі від 1,22 до 1,55 мас.% корозійні втрати Cr майже не змінюються (рис. 1б), але наступне зростання вмісту Mn в сталі до 1,7 мас. інтенсивно впливає на корозійні втрати Cr зі сталі. Наявно таку закономірність зумовлено тим, що увесь Mn при вмісті в сталі до 1,55 мас.% розчиняється в твердому розчині аустеніту. Наступне зростання вмісту Mn у сталі сприяє випадінню границями зерен аустеніту складних карбідів, які містять Mn. Найвірогідніше через це Cr при вмісті в сталі до 17,2 мас.% та Si до 0,56 мас.% сприяють зростанню корозійних втрат Cr зі сталі AISI 321. Адже відомо [10], що на карбідах знижується перенапряга іонізації водню, а через це збільшуються корозійні втрати Cr (рис. 1 в, г). З наступним збільшенням вмісту Si до 0,66 мас.% та Cr до 17,7 мас. знижуються корозійні втрати Cr зі сталі. Вірогідно це зумовлено зміцненням оксидної плівки, оскільки загалом відомо, що ці елементи сприяють інтенсивній пасивації сталі у кислих та слабокислих хлоридовмісних розчинах. Азот є як аустенітотвірним елементом, так і елементом, який утворює нітриди. Внаслідок цього N неоднозначно впливає на корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 (рис. 1 е).

Кореляційним та регресивним аналізом результатів дослідження встановлено, що корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю знижуються зі збільшенням у ній вмісту Si (4) та зменшенням Cr (5).

$$\Delta Ni = 10^{-6} (4250,77 - 4761 Si); \quad r = -0,75; \quad (4)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6} (-17434 + 1111 Cr); \quad r = 0,79. \quad (5)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції рівнянь (4; 5) оцінено за t-критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,10. Таким чином, регресійні залежності (4; 5) адекватно описують корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 залежно від вмісту в ній Si та Cr. Аналіз формул (4; 5) показав, що Cr і Si є феритотвірними елементами в структурі сталі, але за впливом на корозійні втрати Ni зі сталі кардинально відрізняються. Аналогічну тенденцію спостережено між корозійними втратами Ni зі сталі AISI 321 та вмістом у ній C, Mn, Ni, N, оскільки ці елементи є аустенітотвірними. Однак корозійні втрати Ni зі сталі знижуються зі збільшенням в ній вмісту C і Mn та зменшенням Ni і N (рис. 2 а, б, в).

Слід зазначити, що Mn і Si є карбідотвірними елементами. При цьому відомо [10], що карбіди залежно від їх складу як знижують, так і збільшують перенапряга іонізації водню. Найвірогідніше карбіди ($Mn_x Si_y$) C_z збільшують перенапряга іонізації водню і, таким чином, знижують струм катодної та відповідно анодної реакції. Останнє сприяє зменшенню корозійних втрат

Ni зі сталі. На карбідах Cr навпаки знижується перенапряга іонізації водню. Відтак чим більше в сталі карбідів Cr, тим більше корозійні втрати Ni з її поверхні. Вірогідно корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321, здебільше, відбуваються межами зерен аустеніту, тому що при середньому діаметрі зерна від 245 до 312 мкм. корозійні втрати Ni зі сталі зростають внаслідок збільшення некогерентності ґраток в цих місцях та розташування карбідів Cr (рис.2і). Виявлено, що корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 знижуються зі збільшенням у ній об'єму нітридів титану та середньої відстані між ними (рис. 2д, е). Таким чином, чим більше відстань між нітридами титану, тим більше їх розмір і тим менше корозійні втрати Ni зі сталі. Найвірогідніше нітриди титану катодно захищають сталь від корозійних втрат у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л.

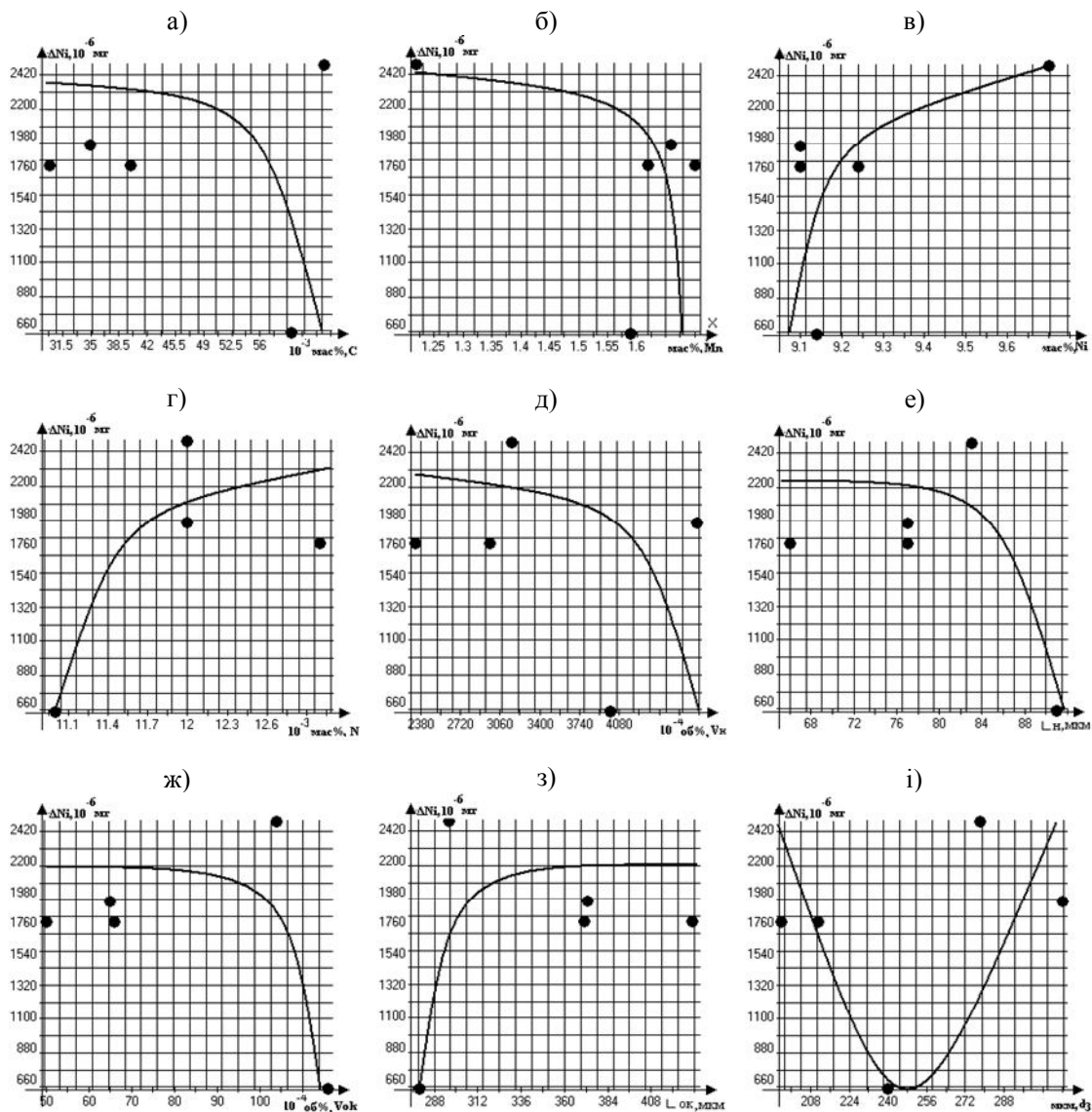


Рис. 2 – Корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від вмісту: а) - вуглецю; б) - мангану; в) - нікелю; г) - азоту; д) - об'єму нітридів титану(Vn); е) - середньої відстані між нітридами титану(Ln); ж) - об'єму оксидів (Vok); з) - середньої відстані між оксидами(Lok); і) - середнього діаметру зерна аустеніту (d3)

Між об'ємом оксидів та корозійними втратами Ni зі сталі встановлено аналогічну закономірність (рис.2, ж). Однак спостережено, що корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 зростають зі збільшенням середньої відстані між оксидами. Таким чином, чим більше за розміром оксиди,

тим більше корозійні втрати Ni. Вірогідно це зумовлено тим, що дрібні оксиди, які, здебільше, розташовано границями зерен аустеніту зміцнюють границі зерен та зменшують розчинення Ni зі сталі. До того ж, цей процес обмежено середнім діаметром зерна до 250 мкм (рис.2і), оскільки наступне збільшення розміру зерна аустеніту сприяє тому, що границями зерен розташовуються великі за розміром оксиди на яких знижуються перенапряга іонізації водню та зростають корозійні втрати. Показано, що N і Ni збільшують корозійні втрати Ni зі сталі AISI 321 у слабокислому хлоридовмісному розчині. Вірогідно це зумовлено тим, що N є елементом втілення в кристалічну ґратку аустеніту, який здатний до сегрегації границями зерен. Отже, через це N, який сегреговано границями зерен, при збільшенні вмісту Ni в сталі сприяє розчиненню останнього в цих місцях. Таким чином, чим більше N і Ni в сталі, тим більше Ni розчиняється.

Кореляційним та регресивним аналізом результатів дослідження встановлено, що корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з pH5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л за прямолінійною закономірністю знижуються зі збільшенням у ній вмісту Mn (6), Si (7), середньої відстані між нітридами титану L_n (8) та зменшенням вмісту Cr (9) і N (10)

$$\Delta Fe = 10^{-6} (7145,5 - 895,98Mn); \quad r = -0,80 \quad (6)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (9883,5 - 6250Si); \quad r = -0,73 \quad (7)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (12335,0 - 79,81L_n); \quad r = -0,95 \quad (8)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (18218,0 + 1408,5Cr); \quad r = 0,90 \quad (9)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (-4231,5 + 1,19 \cdot 10^{-6}N); \quad r = 0,92 \quad (10)$$

Значущість коефіцієнтів кореляції регресійних залежностей (6-10) оцінено за t-критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,10. Отже, регресійні залежності (6-10) адекватно описують корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з pH5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л залежно від вмісту в ній Mn, Si, Cr, N та середньої відстані між нітридами титану. Аналізуючи регресійну залежність (10) варто відмітити, що вміст N у сталі практично не впливає на корозійні втрати Fe з її поверхні.

Манган, вуглець та нікель є аустенітотвірними елементами. Напевно саме через стабілізацію аустенітної структури сталі знижуються корозійні втрати Fe з поверхні зразків зі збільшенням вмісту цих елементів (рис. 3а, б).

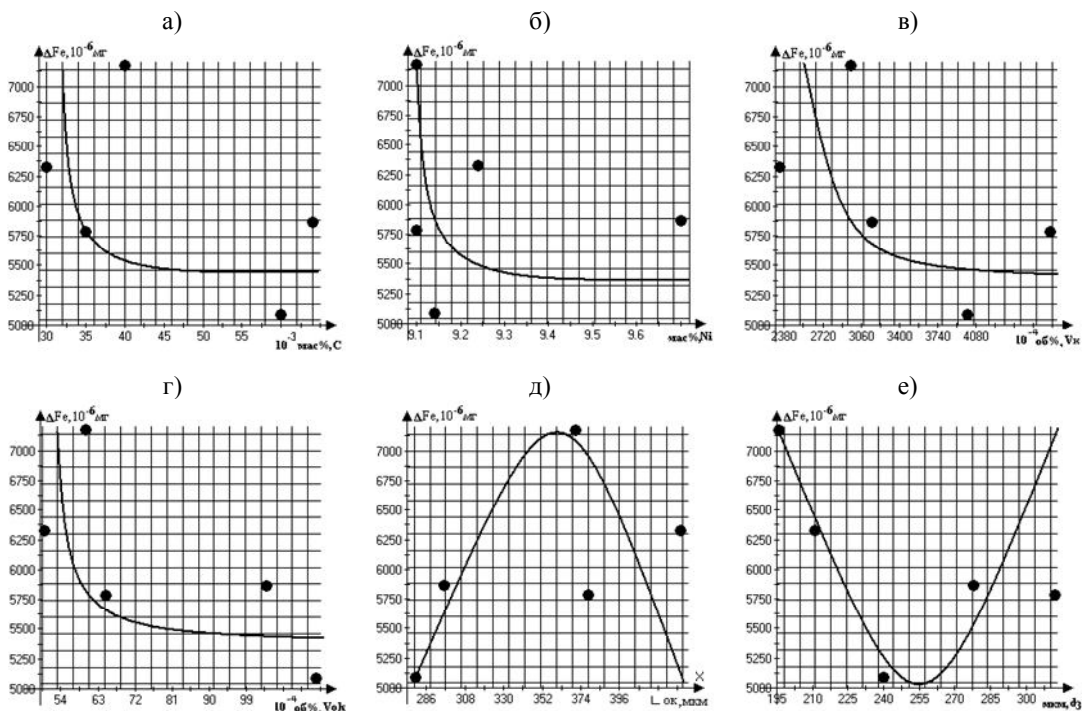


Рис. 3 - Корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з pH5 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від вмісту: а)– вуглецю; б)- нікелю; в)- об'єму нітрідів титану(Vn); г)- об'єму оксидів(Vok); д) середньої відстані між оксидами (Lок); е)- середнього діаметру зерна аустеніту(d₃)

З аналізу формул (7; 9) виходить, що Si знижує, а Cr збільшує корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321. При цьому вони є феритотвірними та карбідотвірними елементами. Однак на відміну від Cr силіцієм також є поверхнево-активним елементом. Відтак розчинення Fe з поверхні сталі, здебільше, відбувається границями зерен аустеніту. Внаслідок цього корозійні втрати Fe зі сталі знижуються зі збільшенням середнього діаметру зерна аустеніту від 211 до 255 мкм, оскільки довжина границь зерен знижується зі збільшенням діаметру зерна (рис. 3е).

Наступне збільшення середнього діаметру зерна аустеніту сприяє зростанню корозійних втрат Fe зі сталі AISI 321 (рис. 3е). Це зумовлено збільшенням ступеня некогерентності суміжних ґраток зерен аустеніту та збільшенням границями зерен дрібних оксидів, які анодно активують ці ділянки сталі. Така думка підтверджується тим, що корозійні втрати Fe зі сталі зростають зі збільшенням середньої відстані між оксидами від 280 до 360 мкм (рис.3д). Однак наступне збільшення середньої відстані між оксидами від 360 до 431 мкм сприяє зниженню корозійних втрат Fe зі сталі (рис.3д). Взагалі встановлено, що корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 у хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л знижуються зі збільшенням у ній об'єму оксидів та нітридів титану (рис.3в,г). Найвірогідніше великі за розміром оксиди та нітриди титану катодно захищають сталь AISI 321. Такі міркування зроблено з аналізу формули (8), (рис.3в,г,д) та літературних даних [10].

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 хлоридовмісному розчині з рН5 і концентрацією хлоридів 600 мг/л, а саме:

- Корозійні втрати Cr зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням середньої відстані між нітридами титану та зменшенням вмісту фосфору. Це зумовлено тим, що на великих за розміром нітридах титану знижується перенапряга іонізації водню, а P при розмірі зерна аустеніту до 252 мкм сегрегує границями зерен та блокує розчинення Cr зі сталі. Вуглець та нікель знижують корозійні втрати Cr зі сталі внаслідок стабілізації аустенітної структури. Манган, хром при вмісті до 17,2 та Si до 0,56 мас.% інтенсифікують розчинення Cr зі сталі внаслідок випадіння дрібних карбідів границями зерен. Зі збільшенням вмісту Si до 0,66 та Cr до 17,7 мас.% знижуються корозійні втрати Cr зі сталі. Це зумовлено зміцненням оксидної плівки. Дрібні оксиди титану як і карбіди збільшують корозійні втрати Cr зі сталі. Однак зі збільшенням середньої відстані між оксидами від 368 до 431 мкм знижуються корозійні втрати Cr. Найвірогідніше більші за розміром оксиди катодно захищають сталь у хлоридовмісному розчині.

- Корозійні втрати Ni зі сталі за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ній вмісту Cr та зменшенням Si. З аналізу отриманих графічних закономірностей зроблено припущення, що карбіди, які складаються з Si і Mn та великі за розміром оксиди та нітриди титану катодно захищають сталь, а дрібні карбіди хрому, які розташовано границями зерен анодно активують ці ділянки. До того ж, N, сегрегуючи до границь зерен аустеніту, також пришвидшує розчинення Ni.

- Корозійні втрати Fe зі сталі AISI 321 за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ній вмісту Cr, N та зменшенням Mn, Si і середньої відстані між нітридами титану. З аналізу графічних даних та аналітичних залежностей виходить, що Fe розчиняються, здебільше, границями зерен аустеніту. При цьому Mn, C та Ni внаслідок стабілізації аустеніту знижують корозійні втрати Fe зі сталі. Карбіди хрому та дрібні оксиди, які розташовано границями зерен, збільшують корозійні втрати Fe. Однак великі за розміром оксиди та нітриди титану катодно захищають сталь та знижують інтенсивність розчинення Fe.

Список використаних джерел:

1. Нихаенко Ю.Я. Определение критериев стойкости нержавеющей стали 12X1810T против локальной коррозии в щелочных хлоридосульфатных растворах / Ю.Я. Нихаенко, В.С. Новицкий, В.С. Козуб // Защита металлов. - 1986. - 22. - № 5. – С.721-724.
2. Качанов В.А. Исследование склонности стали 12X18Н10Т к точечно-язвенной и целевой коррозии в нейтральных средах применительно к разборным пластинчатым теплообменникам /В.А. Качанов, Д.Г. Никитин // Отчет о НИР: Харьков: УкрНИИХиммаш. - 1985. – С.77.

3. Герасимов В.В. Прогнозирование коррозии металлов / В.В. Герасимов. – М. : Металлургия, 1989. – 151 с.
4. Сахненко Н.Д. Изучение склонности нержавеющей сталей к питтинговой коррозии в системах горячего водоснабжения / Н.Д. Сахненко, П.А. Капустенко, М.В. Веды, С.Г. Желавский // Журнал прикладной химии. - 1998. - №1. – С.80-83.
5. Нарівський О.Е. Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах: дис. канд. тех. наук : 05.17.14 Нарівський О.Е. - Львів, 2009. – 209 с.
6. Нарівський О.Е. Вплив гетерогенності сталі AISI 321 на її пітингостійкість у хлоридовмісному середовищі / О.Е. Нарівський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2007. - №2. – С.100-106.
7. Нарівський О.Е. Визначення пітинготривкості сталі AISI 321 в хлоридовмісному середовищі, яке присутнє у роботі теплообмінників / О.Е. Нарівський, С.Б. Беліков // Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спец. випуск. - 2006. – С.316-320.
8. Беліков С.Б. Кінетика корозійних процесів сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмісних розчинах та швидкість їх корозії / С.Б. Беліков, О.Е. Нарівський // Нові технології та матеріали в металургії та машинобудуванні. - 2011. - №1. – С.36-43.
9. Колотыркін Я.М. Успехи и задачи развития теории коррозии / Я.М. Колотыркін // Защита металлов. - 1980. – Вип. 16. - № 6. – С. 660-673.
10. Колотыркін Я.М. Металл и коррозия / Я.М. Колотыркін. – М. : Металлургия, 1985.- 88 с.

Bibliography:

1. Nihaenko U.Y. Defining criteria resistance stainless steel 12H1810T against localized corrosion in alkaline solutions hloridsulfatnyh / Y.Y. Nihaenko, V.S. Novitsky, V. Kozub // Protection of Metals. - 1986. - 22.; № 5. - P.721-724. (Rus.)
2. Kachanov V.A. Study propensity to become 12X18H10T dot ulcer and crevice corrosion in a neutral environment in relation to folding heat-exchangers / V.A. Kachanov, D.G. Nikitin // Research Report: Kharkov: UkrNIIMash - 1985.-p.77. (Rus.)
3. Gerasimov V.V. Prediction of metal corrosion. - Moscow, Metallurgy, 1989-151p. (Rus.)
4. Sakhnenko N.D. The study of addiction stainless steels to pitting corrosion in hot water systems / N.D. Sakhnenko, P.A. Kapustenko, M.V. Indeed, S.G. Zhelavsky. // Journal of Applied Chemistry. - 1998. - № 1.-p.80-83. (Rus.)
5. Narivskiy A.E. Corrosion-electrochemical behavior of structural materials for heat-exchangers in the model of working waters: the dissertation of the candidate engineering science: 05.17.14 Narivskiy A.E. - // Lviv.-2009-209 p. (Ukr.)
6. Narivskiy A.E. The influence of heterogeneity steel AISI 321 on its pitting resistance in chloride-containing environments / A.E. Narivsky // Physicochemical mechanics of materials. 2007. - № 2- P.100-106. (Ukr.)
7. Narivskiy A.E. Determination of pitting resistance steel AISI 321 in chloride-containing environments is present in the heat-exchanger / A.E. Narivskiy, S.B. Belikov // Physicochemical mechanics of materials. Special Issue № 5.-2006.-p.316-320. (Ukr.)
8. Belikov S.B. The kinetics of corrosion processes of steel AISI 321 and 12X18H10T in neutral chloride-containing solution and the rate of corrosion / S.B. Belikov, A.E. Narivskiy // New technologies and materials in the metallurgy and machin building.-2001. - № 1, p.36-43. (Ukr.)
9. Kolotyarkin Y.M. Successes and problems of the theory of corrosion / Y.M. Kolotyarkin // Protection of Metal.-1980.-16., № 6.-p.660-673. (Ukr.)
10. Kolotyarkin Y.M. Metal and corrosion. Moscow, Metallurgy, 1985. - 88p. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Міщенко
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ЗНУ»

Статья поступила 16.01.2013