

Получена зависимость частоты собственных прямолинейных колебаний подрессоренной части колесного транспортного средства (КТС) от амплитуды и параметров, которые описывают нелинейно-упругую характеристику восстановительной силы упругих амортизаторов; проанализировано их влияние на критическую скорость устойчивого движения КТС вдоль криволинейного участка пути.

**Ключевые слова:** подрессоренная масса, подвеска, нелинейные колебания, устойчивость движения, критическая скорость.

**Grubel M.H., Sokil M.B., Nanivskyi R.A. Oscillations of the sprung part of wheeled vehicles and its influence on road holding along the curvilinear stretch of a track**

The dependence of frequency of own rectilinear oscillations of the sprung part of wheeled vehicles on the amplitude and parameters, which describe a nonlinear elastic characteristic of restoring force of elastic shock absorbers is obtained; their influence on the critical velocity of stable motion of wheeled vehicles along the curvilinear stretch of a track is analyzed.

**Keywords:** sprung mass, suspension, nonlinear oscillations, road holding, critical velocity.

УДК 620.x194+197і

Докторант О.Е. Нарівський<sup>1</sup>, канд. техн. наук – Запорізький НТУ

**КОРОЗИЙНА ПОВЕДІНКА СПЛАВУ 06ХН28МДТ У МОДЕЛЬНІЙ ОБОРОТНІЙ ВОДІ ПІД ОСАДОМ**

Досліджено корозійну поведінку сплаву 06ХН28МДТ у модельній оборотній воді з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л. Встановлено закономірності та механізми корозійного розчинення Cr, Ni та Fe зі сплаву. Показано, що корозійні втрати сплаву відбуваються, в основному, в околі великих включень та границями зерен аустеніту. Доведено, що корозійні втрати сплаву більше залежать від його структурної гетерогенності, ніж від зміни хімічного складу в межах стандарту. Окрім цього, встановлено, що великі включення нітридів і окисульфідів титану, катодно захищаючи сплав 06ХН28МДТ, знижують корозійні втрати Cr, Ni та Fe з пітінгів та границями зерен аустеніту.

**Ключові слова:** модельна оборотна вода, корозійні втрати, хлоридовмісне середовище, пітінгова корозія, корозійностійкий сплав.

**Вступ.** Корозійностійкий сплав 06ХН28МДТ застосовують у виробництві емісійної та теплообмінної апаратури, яку використовують у технологічних процесах із сірчаною, хромовою і фосфорною кислотами [1]. Сплав 06ХН28МДТ у цих корозійних середовищах має достатню стійкість. Однак з боку оборотної води, яку застосовують у роботі теплообмінної апаратури, цей конструкційний матеріал піддається пітінговій та щільній корозії.

Найчастіше причиною пітінгування елементів теплообмінної апаратури з боку оборотної води є хлорид-іони та температура [2-4]. Відомо [5, 6], що під осадом із оборотної води на поверхні теплообмінників, внаслідок процесу гідратації іонів металу, знижується рН оборотної води, зростає концентрація хлорид-іонів і локально підвищується температура. Ці чинники є причиною пітінгування матеріалу теплообмінників.

Раніше [2, 4] досліджували пітінгостійкість сплаву в модельних оборотних водах з рН4...8 і концентрацією хлоридів 300...600 мг/л. Пітінгостійкість оцінювали за критичною температурою пітінгування сплаву і  $\Delta\phi$  – критерієм.

<sup>1</sup> Наук. керівник: проф. С.Б. Беліков, д-р техн. наук

Впровадження результатів дослідження у виробництво дозволило уникнути пітінгування обладнання, але дещо обмежило його технологічні можливості. З метою усунення цього недоліку раніше [7, 8] досліджували кінетику корозійного розчинення сплаву 06ХН28МДТ у хлоридовмісних розчинах з рН4...8 і концентрацією хлоридів 180 мг/л. Однак, як зазначено вище, на поверхні теплообмінників з боку оборотної води випадає осад, де накопичується вміст хлоридів до 600 мг/л і знижується рН води до 4. Тому визначення корозійної поведінки сплаву у цих умовах є актуальною проблемою.

**Мета роботи** – дослідити закономірності та встановлювали механізми корозійного розчинення Cr, Ni, та Fe зі сплаву 06ХН28МДТ у модельній оборотній воді з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л.

**Матеріали та методика досліджень.** Зразки виготовляли з п'яти промислових плавків сплаву 06ХН28МДТ. Хімічний склад і складові структури сплаву визначали раніше [2-4]. Зразки досліджуваного сплаву витримували у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л за температури 70 °С впродовж 240 год. Хлоридовмісний розчин із зазначеними вище параметрами отримували додаючи у водяний розчин хлористого магнію MgCl<sub>2</sub> соляну кислоту HCl або гідроксид натрію NaOH. Вміст заліза у розчинах після термостатування зразків визначали методом, що базується на взаємодії іонів двохвалентного заліза з 1,10-фенантроліном із утворенням червоного комплексу з максимумом світлопоглинання 510nm. Відновлення заліза (III) до заліза (II) проводили застосовуючи гідроксиламін. Вміст хрому у розчинах після термостатування зразків визначали методом, який базується на реакції Cr<sup>+6</sup> з дифенілкарбазидом і екстракції утвореної сполуки із трихлороцетовою кислотою ізоміловим спиртом, з наступним визначенням оптичної густини цієї сполуки на КФК-3 при  $\lambda=540\text{nm}$ . Вміст нікелю у розчинах визначили методом, який базується на взаємодії іонів нікелю із диметилглюксином у слабоаміачному середовищі за наявності бромиду, із утворенням комплексної сполуки від жовтого до червоного кольору залежно від концентрації нікелю. Фотометричним методом визначали оптичну густину розчину при  $\lambda=440\text{nm}$ .

Коефіцієнти селективного розчинення хрому і нікелю визначали за формулою

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

де:  $Z_{(Cr; Ni)}$  – коефіцієнт селективного розчинення хрому або нікелю;  $\Delta m_{(Cr; Ni)}$  – вміст хрому або нікелю у розчинах після термостатування у них зразків, мг;  $\Delta m_{(Fe)}$  – вміст заліза у розчинах після термостатування у них зразків, мг;  $m_{(Cr; Ni)}$  – вміст хрому або нікелю у сталі, мас.%;  $m_{(Fe)}$  – вміст заліза у сталі, мас.%.

Прямолінійні регресивні залежності між корозійними втратами заліза  $\Delta Fe$ , хрому  $\Delta Cr$ , нікелю  $\Delta Ni$  після витримки зразків у досліджених хлоридовмісних розчинах та вмістом у сплаві хімічних елементів ( $N_i$ ) і складовими структурами ( $V_n$  – об'єм нітридів титану об.%,  $L_n$  – середня відстань між нітридами титану; мкм,  $V_{ок}$  – об'єм окисульфідів титану, об/%;  $L_{ок}$  – середня відстань між

оксисульфідами титану, мкм;  $d_3$  – середній діаметр зерна аустеніту, мкм) визначали методом найменших квадратів [9].

**Результати досліджень.** Корозійні випробування сплаву 06ХН28МДТ у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л показали (табл.), що корозійні втрати Ni в середньому в 1,92 раза більші, ніж Fe, а Fe – у 2,05 раза більші, ніж Cr. Варто зазначити, що сплав у середньому містить у 1,53 раза більше Fe, ніж Ni та у 1,83 раза, ніж Cr. Отже, найінтенсивніше з поверхні сплаву розчиняється Ni та Fe.

Табл. Корозійні втрати  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$ ,  $\Delta Fe$  зі сплаву 06ХН28МДТ після витримки у хлоридовмісному розчині впродовж 240 год за температури 70 °С

Параметри розчину		Хімічний елемент	Плавка				
рН	$C_{cl}$ ; мг/л		1	2	3	4	5
		Корозійні витрати, мг·10 <sup>-6</sup>					
4	600	Cr	2388	1569	796	900	1109
		Ni	7860	4315	3748	5024	5591
		Fe	3138	783	5155	4651	112

Взагалі кінетику корозійного розчинення Cr та Ni з поверхні сплавів оцінюють за коефіцієнтами селективного розчинення  $Z_{Cr}$   $Ni_{Z_{Ni}}$ . Відомо [10], що при  $Z_{Cr, Ni} \leq 1$  кількість Cr та Ni на поверхні сплаву більше, ніж в його об'ємі. Застосовуючи формулу (1) та дані таблиці і попередніх досліджень [2-4] визначено коефіцієнти селективного розчинення Cr та Ni зі сплаву 06ХН28МДТ у дослідженому хлоридовмісному розчині, а саме:

- $Z_{Cr}$  п'яти плавко: 1,26; 3,75; 0,31; 0,36; 17,5;
- $Z_{Ni}$  п'яти плавко: 3,67; 8,48; 1,16; 1,66; 75,3.

Таким чином, на поверхні зразків із сплаву плавко 3; 4 зростає вміст Cr щодо його вмісту в об'ємі, а із плавки 5, навпаки, істотно знижується. На поверхні зразків із п'яти плавко сплаву вміст Ni знизився щодо його вмісту в об'ємі. До того ж, коефіцієнти  $Z_{Ni}$  коливалися від 1,16 плавка 3 до 75,3 плавка 5. Це зумовлено структурною гетерогенністю п'яти плавко сплаву.

За результатами корозійних випробувань, кореляційного та регресивного аналізу між  $\Delta Cr$  та параметрами сплаву встановлено, що корозійні втрати Cr зі сплаву 06ХН28МДТ за прямолінійною закономірністю знижуються зі збільшенням у ньому вмісту Si(2), середньої відстані між оксисульфідами титану  $L_{ок}$  (3), середнього діаметра зерна аустеніту  $d_3$ (4) та зменшенням вмісту Cr(5) і Mo (6).

$$\Delta Cr = 10^{-6} (4352,3 - 5263Si); r = -0,71 \quad (2)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6} (4085,49 - 6,1L_{ок}); r = -0,74 \quad (3)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6} (2598,33 - 50000d_3); r = -0,76 \quad (4)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6} (-11712,44 + 569,6Cr); r = 0,81 \quad (5)$$

$$\Delta Cr = 10^{-6} (-9122,75 + 4000Mo); r = 0,95 \quad (6)$$

Окрім цього, графічним аналізом між корозійними втратами Cr зі сплаву 06ХН28МДТ та вмістом у ньому C, Mn, об'ємом нітридів та оксисульфідів титану, середньою відстанню між нітридами титану встановлено параболічну закономірність (рис. 1 а-в; д-ж), а між  $\Delta Cr$  та вмістом P у сплаві – гіперболічну (рис. 1, г).

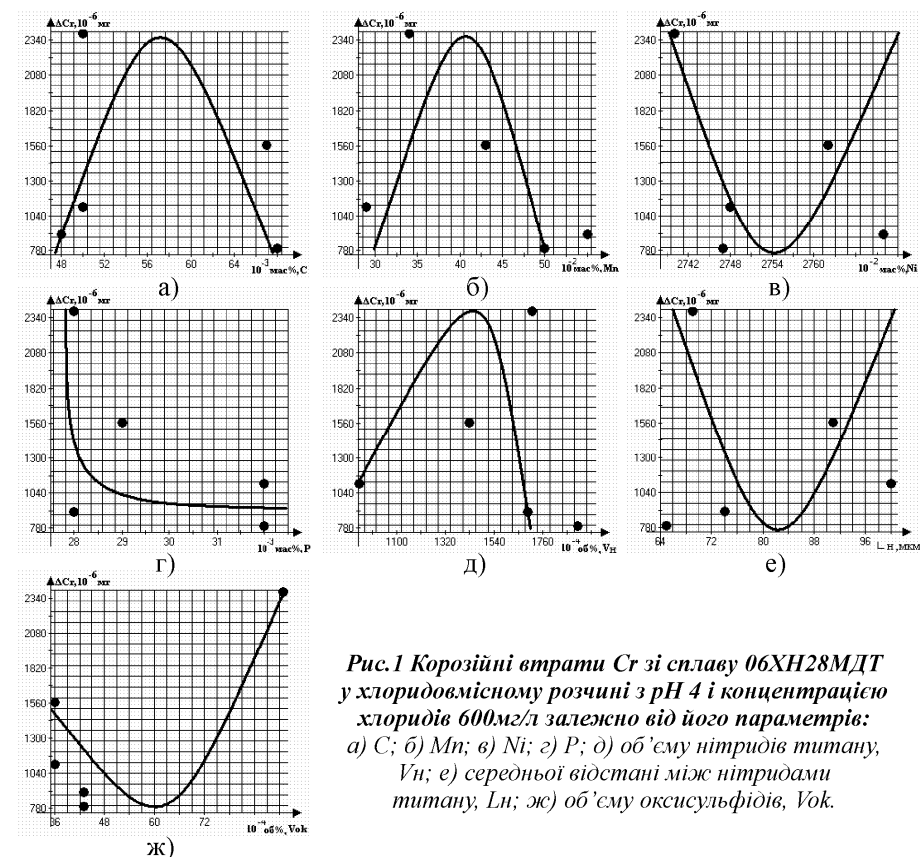


Рис.1 Корозійні втрати Cr зі сплаву 06ХН28МДТ у хлоридовмісному розчині з рН 4 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від його параметрів: а) C; б) Mn; в) Ni; г) P; д) об'єму нітридів титану,  $V_{Ti}$ ; е) середньої відстані між нітридами титану,  $L_{Ti}$ ; ж) об'єму оксисульфідів,  $V_{ок}$ .

З аналізу даних рис. 1; д, е випливає, що чим більший об'єм великих за розміром нітридів титану містить сплав, тим більші корозійні втрати Cr з його поверхні. Найвірогідніше інтенсивне розчинення Cr з поверхні сплаву відбувається в околі великих нітридів титану. При цьому дрібні нітриди титану знижують корозійні втрати Cr зі сплаву 06ХН28МДТ границями зерен аустеніту. Адже, згідно з формулою (4), корозійні втрати Cr зі сплаву знижуються зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту. Це зумовлено декількома чинниками, а саме:

- зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту знижується загальна довжина границь зерен, де інтенсивно розчиняється хром;
- зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту зростає, як відомо [11], некогерентність суміжних ґраток зерна і внаслідок цього дрібні нітриди титану та P, який сегреговано границями зерен аустеніту (рис. 1 г), блокують розчинення Cr на цих ділянках.

Варто зазначити, що Mn та Si сприяють сегрегації P границями зерен аустеніту [12]. Вірогідно внаслідок цього корозійні втрати Cr зі сплаву знижуються зі збільшенням у ньому вмісту Si (2) та Mn від 0,40 до 0,55 мас.%

(рис. 1 б). Манган та вуглець є аустенітотвірними, а хром і молібден феритотвірними елементами структури сплавів та сталей, але ці елементи (рис. 1; а, б; ф-ли (5, 6) які розчинені у твердому розчині аустеніту збільшують корозійні втрати Cr зі сплаву. Це зумовлено тим, що С, Mn, Cr і Мо зміцнюють аустенітну матрицю і, таким чином, збільшують напруження в оксидній плівці, що сприяє зростанню корозійних втрат Cr зі сплаву 06ХН28МДТ.

Нікель до певної концентрації в сплаві стабілізує аустенітну структуру і внаслідок цього знижує корозійні втрати Cr (рис. 1, в). Однак наступне збільшення вмісту Ni в сплаві 06ХН28МДТ сприяє зростанню корозійних втрат Cr, оскільки в пітингах Cr має більш від'ємний потенціал, ніж Ni.

Розмір включень зростає зі збільшенням середньої відстані між ними. Отже, згідно з формулою (3), чим більші за розміром оксисульфіди титану, тим менші корозійні втрати Cr зі сплаву в хлоридовмісному середовищі. Напевно великі за розміром оксисульфіди титану катодно захищають сплав і таким чином знижують корозійні втрати Cr. З аналізу даних рис. 1, ж та формули (3), виходить, що корозійні втрати Cr зі сплаву 06ХН28МДТ знижуються зі збільшенням об'єму оксисульфідів титану, якщо останній складається із великих за розміром включень. Якщо об'єм оксисульфідів титану складається із дрібних включень, то корозійні втрати Cr зі сплаву зростають зі збільшенням їх об'єму. Вірогідно дрібні оксисульфіди титану, які розташовано границями зерен, активують сплав на цих ділянках та збільшують корозійні втрати Cr.

За результатами корозійних випробувань сплаву 06ХН28МДТ у досліджуваному хлоридовмісному розчині, кореляційного і регресивного аналізу встановлено, що корозійні втрати Ni зі сплаву за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ньому вмісту Cr (7), Мо (8) та зменшенням середньої відстані між оксисульфідами титану  $L_{ок}$  (9) і середнього діаметра зерна аустеніту  $d$  (10).

$$\Delta Ni = 10^{-6} (-32385,4 + 1639,3Cr); r = 0,96 \quad (7)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6} (-11238,4 + 6250Mo); r = 0,71 \quad (8)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6} (12544,3 - 16,2L_{ок}); r = -0,80 \quad (9)$$

$$\Delta Ni = 10^{-6} (-11712,44 - 569,6 d_3); r = -0,82 \quad (10)$$

Окрім цього, графічним аналізом між корозійними втратами Ni зі сплаву 06ХН28МДТ та вмістом у ньому С встановлено гіперболічну закономірність (рис. 2, а). Між корозійними втратами Ni зі сплаву та рештою його параметрами виявлено параболічну закономірність (рис. 2, б-з)

З порівняльного аналізу формул (3-6) та (7-10) виходить, що між корозійними втратами Cr і Ni зі сплаву 06ХН28МДТ та вмістом у ньому Cr, Мо, середньою відстанню між оксисульфідами титану і середнім діаметром зерна аустеніту аналогічні закономірності. Отже, можна припустити, що ці закономірності зумовлені аналогічними процесами розчинення Cr та Ni зі сплаву.

Результати аналізу даних рис. 2, з та формул (9; 10) засвідчили, що великі за розміром оксисульфіди титану катодно захищають сплав у хлоридовмісному розчині і таким чином знижують корозійні втрати Ni. Однак дрібні оксисульфіди активують сплав границями зерен аустеніту і таким чином збільшують корозійні втрати Ni.

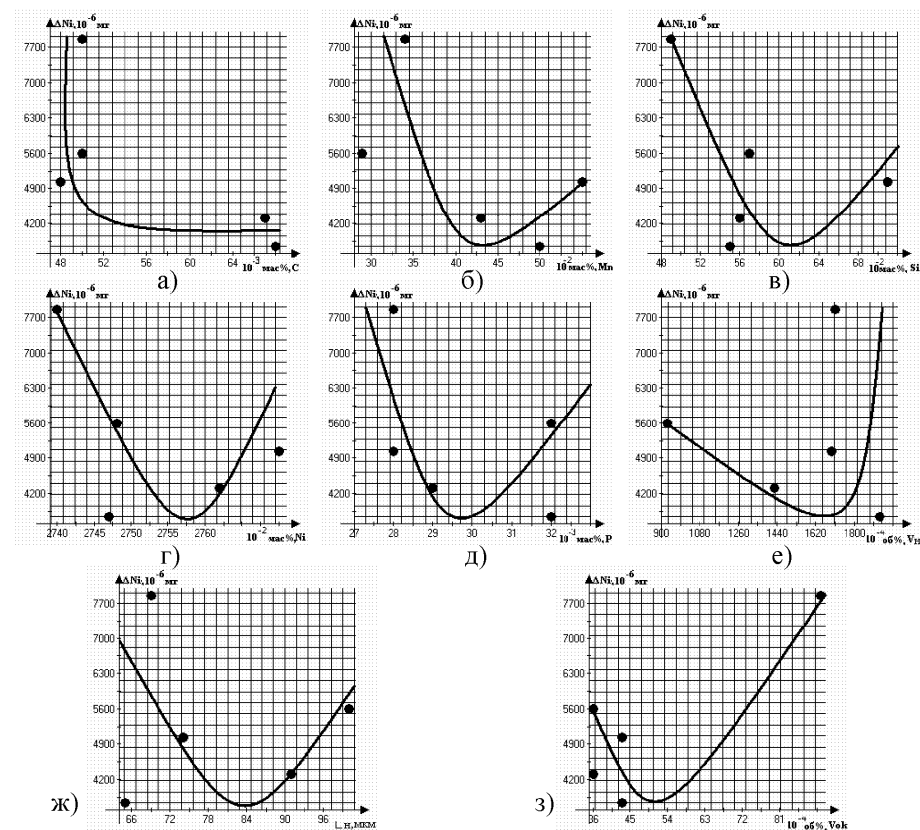


Рис. 2. Корозійні втрати Ni зі сплаву 06ХН28МДТ у хлоридовмісному розчині з рН 4 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від його параметрів: а) С; б) Mn; в) Si; г) Ni; д) P; е) об'єму нітридів титану,  $V_n$ ; ж) середньої відстані між нітридами титану,  $L_n$ ; з) об'єму оксисульфідів,  $V_{ок}$

З аналізу даних рис. 2, е, ж виходить, що найінтенсивніше розчинення Ni відбувається в околі великих за розміром нітридів титану. Проте дрібні нітриди титану блокують розчинення Ni границями зерен аустеніту. Вуглець, манган і нікель є аустенітотвірними елементами структури сталей і сплавів. Саме через це С, Mn і Ni, які розчинено в твердому розчині аустеніту, до певної концентрації в сплаві знижують корозійні втрати Ni (рис. 2; а, б, г).

Наступне збільшення вмісту цих хімічних елементів у сплаві сприяє виділенню із твердого розчину дрібнодисперсних фаз, які активують сплав границями зерен аустеніту. Вірогідно внаслідок цього зростають корозійні втрати Ni зі сплаву на цих ділянках. Силіційум і фосфор є феритотвірними елементами структури, але їх феритотвірні властивості та кількість у сплаві не сприяють утворенню феритної фази. Однак ці хімічні елементи мають поверхнево-активні властивості і, отже, здатні за певної концентрації в сплаві розчинитися границями зерен аустеніту прискорюючи розчинення Ni.

За результатами кореляційного та регресивного аналізу результатів корозійних випробувань сплаву 06ХН28МДТ та його параметрів встановлено, що корозійні втрати Fe зі сплаву в хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ньому вмісту Mn (11) та зменшенням C (12), об'єму нітридів титану  $V_n$  (13), середньої відстані між нітридами титану  $L_n$  (14) і об'єму оксисульфідів титану,  $L_{ок}$  (15).

$$\Delta Fe = 10^{-6} (-3845,9 + 16666,7 Mn); r = 0,75 \quad (11)$$

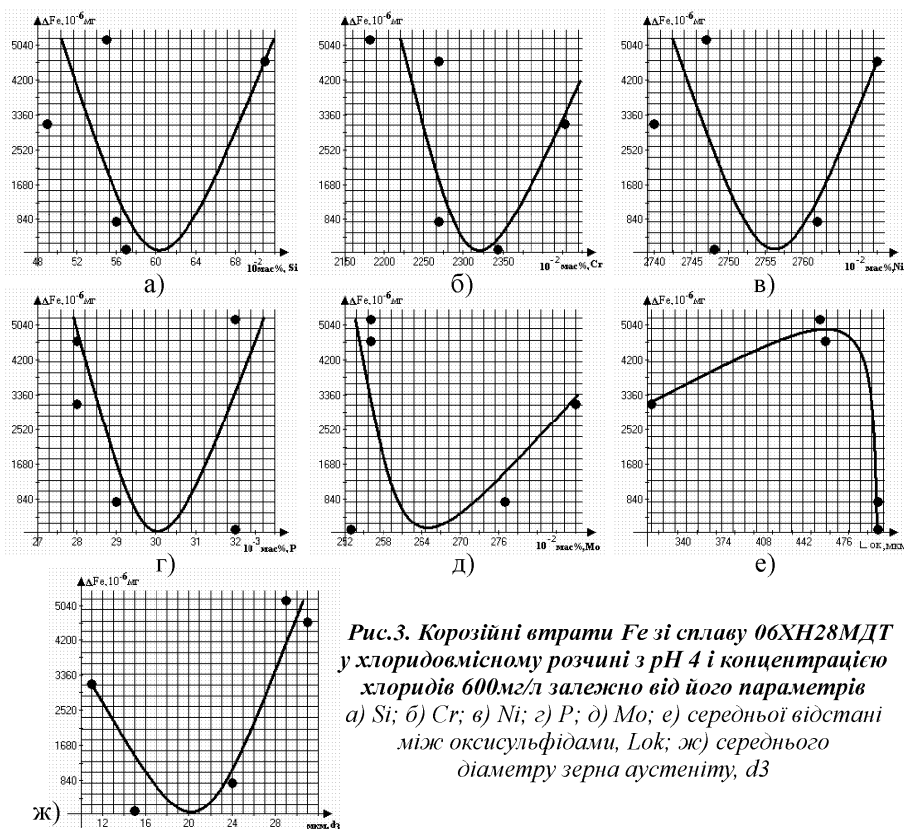
$$\Delta Fe = 10^{-6} (3882,5 - 7692,3 C); r = -0,71 \quad (12)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (3653,1 - 1388,9 V_n); r = -0,71 \quad (13)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (13912,2 - 139,7 L_n); r = -0,93 \quad (14)$$

$$\Delta Fe = 10^{-6} (3968,8 - 100000 V_{ок}); r = -0,71 \quad (15)$$

Окрім цього, графічним аналізом встановлено параболічні залежності між корозійними втратами Fe зі сплаву 06ХН28МДТ та вмістом у ньому Si, Cr, Ni, P, Mo, середньою відстанню між оксисульфідами титану і середнім діаметром зерна аустеніту (рис. 3).



**Рис.3. Корозійні втрати Fe зі сплаву 06ХН28МДТ у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600мг/л залежно від його параметрів а) Si; б) Cr; в) Ni; г) P; д) Mo; е) середньої відстані між оксисульфідами,  $L_{ок}$ ; ж) середнього діаметру зерна аустеніту,  $d_3$**

Згідно з формулою (14), чим більша середня відстань між нітридами титану, тим менші корозійні втрати Fe зі сплаву. При цьому чим більша середня відстань між включеннями, тим більший їх розмір. Отже, великі за розміром нітриди титану катодно захищають сплав 06ХН28МДТ у хлоридовмісному розчині з рН4 і концентрацією хлоридів 600 мг/л і таким чином знижують корозійні втрати Fe. Згідно з формулою (15), чим більший об'єм оксисульфідів титану в сплаві, тим менші корозійні втрати Fe. Напевно великі за розміром оксисульфіди титану, як і нітриди титану, катодно захищають сплав. Адже встановлено, що корозійні втрати Fe зі сплаву інтенсивно знижуються зі збільшенням середньої відстані між оксисульфідами титану від 420 до 505 мкм. (рис. 3 е). З аналізу даних рис. 3, е також виходить, що дрібні оксисульфіди титану збільшують корозійні втрати Fe зі сплаву. Найвірогідніше ці процеси відбуваються границями зерен аустеніту, оскільки встановлено, що корозійні втрати Fe зі сплаву 06ХН28МДТ стрімко зростають зі збільшенням середнього діаметра зерна аустеніту від 20 до 31 мкм (рис. 3, ж). Адже відомо [11], що зі збільшенням середнього діаметра зерна зростає ступінь некогерентності між суміжними ґратками. Внаслідок цього зростає вірогідність випадіння границями зерен вторинних фаз, зокрема і дрібнодисперсних включень типу оксисульфідів, які локально активують сплав на цих ділянках у хлоридовмісних розчинах. Варто зазначити, що зростання середнього діаметра зерна аустеніту сплаву від 11 до 200 мкм знижує корозійні втрати Fe (рис. 3, ж). Це зумовлено тим, що зі збільшенням середнього діаметра зерна зменшується загальна довжина границь зерен.

Силіцій, хром, фосфор і молібден є феритотвірними елементами структури і саме внаслідок цього зміцнюють аустенітну матрицю, що, своєю чергою, знижує корозійні втрати Fe зі сплаву (рис. 3: а, б, г, д). Однак таку тенденцію спостережено, якщо ці хімічні елементи розчинено у твердому розчині аустеніту, оскільки зі збільшенням вмісту Si в сплаві від 0,58 до 0,71 мас.%, Cr від 23,4 до 24,29 мас.%, P від 0,03 мас.% і Mo від 2,64 до 2,88 мас.% виявлено зростання корозійних втрат Cr зі сплаву (рис. 3: а, б, г, д). Це зумовлено переходом цих елементів до складу карбідів та включень, які активують сплав границями зерен аустеніту.

Нікель є аустенітотвірним елементом, тому збільшення цього елемента в сплаві до певної концентрації стабілізує аустеніт і знижує корозійні втрати Ni зі сплаву. Однак наступне збільшення вмісту Ni в сплаві пересичує твердий розчин аустеніту і збільшує корозійні втрати Ni зі сплаву (рис. 3, в).

Отримані результати досліджень використовують для вибору оптимальної плавки сплаву 06ХН28МДТ, із якого виробляють теплообмінне обладнання. Застосовуючи отримані аналітичні залежності та результати попередніх досліджень [6, 7] визначають швидкість пітінгування сплаву в оборотній воді.

**Висновки.** За результатами корозійних випробувань, кореляційного, регресивного та графічного аналізу встановлено закономірності та механізми корозійного розчинення сплаву 06ХН28МДТ у модельній оборотній воді, а саме:

- Корозійні втрати Cr зі сплаву за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ньому вмісту Cr і Mo та зменшенням Si, середньої відстані між оксисульфідами титану і середнього діаметра зерна аустеніту. Між  $\Delta Cr$  сплаву

та вмістом Р встановлено гіперболічну закономірність, а з рештою параметрів сплаву – параболічну. Виявлено, що дрібні нітриди титану та Р, який сегреговано границями зерен аустеніта, блокують розчинення Cr. В околі великих нітридів титану Cr розчиняється інтенсивніше, ніж на інших ділянках сплаву. Вуглець, манган, хром і молібден зміцнюють аустенітну структуру сплаву і таким чином збільшують локальні напруження в оксидній плівці та в околі великих включень утворюють дефекти, де інтенсивно розчиняється Cr зі сплаву. Великі оксисульфіди титану катодно захищають сплав і внаслідок цього знижуються корозійні втрати Cr. Дрібні оксисульфіди титану активують сплав границями зерен аустеніту і збільшують корозійні втрати Cr. Дрібні оксисульфіди титану активують сплав границями зерен аустеніту і збільшують корозійні втрати Cr зі сплаву. Нікель до певної концентрації в сплаві стабілізує аустеніт і знижує корозійні втрати Cr. Проте наступне збільшення Ni в сплаві сприяє зростанню  $\Delta Cr$ .

- Корозійні втрати Ni зі сплаву за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням вмісту Cr і Mo та зменшенням середнього діаметра зерна аустеніту і середньої відстані між оксисульфідами титану. Між  $\Delta Ni$  сплаву та вмістом у ньому Ni встановлено гіперболічну закономірність. Між  $\Delta Ni$  та рештою параметрів сплаву – параболічну.

Встановлено, що в околі великих нітридів титану інтенсивно розчиняється Ni зі сплаву. Дрібні нітриди титану знижують  $\Delta Ni$ , анодно активуючи сплав границями зерен аустеніту. Великі оксисульфіди катодно захищають сплав і таким чином знижують  $\Delta Ni$ . Вуглець, манган і нікель стабілізують аустеніт і внаслідок цього знижують  $\Delta Ni$ . Силіцій і фосфор, як поверхнево-активні елементи, збільшують  $\Delta Ni$  сплаву границями зерен аустеніту.

- Корозійні втрати Fe зі сплаву за прямолінійною закономірністю зростають зі збільшенням у ньому вмісту Mn та зменшенням C, об'єму нітридів титану, середньої відстані між нітридами титану, об'єму оксисульфідів титану. Між  $\Delta Fe$  сплаву та вмістом у ньому Si, Cr, Ni, P, Mo, середньою відстанню між оксисульфідами титану і середнім діаметром зерна аустеніту виявлено параболічну закономірність. Великі оксисульфіди та нітриди титану катодно захищають сплав і знижують  $\Delta Fe$ . Дрібні оксисульфіди та нітриди титану анодно активують сплав границями зерен і збільшують корозійні втрати Fe. Хром, молібден і фосфор до певної концентрації в сплаві зміцнюють оксидну плівку і зменшують  $\Delta Fe$ . Однак Cr, Mo і P, які входять до складу вторинних фаз, збільшують  $\Delta Fe$ .

### Література

1. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей / Д.Г. Туфанов // Справочник. – М.: Изд-во "Металлургия", 1963. – 118 с.
2. Нарівський О.Е. Пітінгостійкість сплаву 06ХН28МДТ у хлоридовмісних середовищах / О.Е. Нарівський, С.Б. Беліков // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – № 4. – С. 95-101.
3. Нарівський О.Е. Оцінка стійкості сплаву 06ХН28МДТ до пітінгової та щільної корозії в хлоридовмісних середовищах / О.Е. Нарівський, С.Б. Беліков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. – № 2. – С. 45-52.
4. Нарівський О.Е. Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.17.14 / Нарівський Олександр Олександрович. – Львів, 2009. – 209 с.
5. Нарівський О.Е. Мікромеханізм корозійного руйнування пластин теплообмінників / О.Е. Нарівський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – № 1. – С. 110-116.
6. Мелехов Р.К. Використання феритно-аустенітних сталей для виготовлення зварних виробів / Р.К. Мелехов, Г.М. Круцан, О.О. Табуренко та ін. // Проблеми трибології. – 2003. – № 3. – С. 3-10.

7. Нарівський О.Е. Кінетика корозійних процесів та швидкість пітінгування сплаву 06ХН28МДТ у слабкокислохлоридовмісних середовищах / О.Е. Нарівський // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. – 2011. – № 31. – С. 214-220.

8. Нарівський О.Е. Закономірності корозійного розчинення та швидкість пітінгування сплаву 06ХН28МДТ у нейтральних хлоридовмісних розчинах / О.Е. Нарівський // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. – 2011. – № 32. – С. 255-261.

9. Данко П.Е. Высшая математика в упражнениях и задачах / П.Е. Данко, А.Г. Попов. – М.: Изд-во "Высш. шк.", 1986. – 415 с.

10. Колотыркин Я.М. Успехи и задачи развития теории коррозии / Я.М. Колотыркин // Защита металлов. – 1980. – Vol. 16, № 6. – С. 660-673.

11. Me Magon C.J. Mechanism of intergranular fracture in alloy steels / C.J. Me Magon // Mater. Charact. – 1991. – Vol. 26, № 4. – Pp. 269-287.

12. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков. – М.: Изд-во "Металлургия", 1978. – 391 с.

### **Наривский А.Э. Коррозионное поведение сплава 06ХН28МДТ в модельной оборотной воде под осадком**

Исследовано коррозионное поведение сплава 06ХН28МДТ в модельной оборотной воде с рН4 и концентрацией хлоридов 600 мг/л. Установлены закономерности и механизмы коррозионного растворения Cr, Ni и Fe из сплава. Показано, что коррозионные потери сплава происходят около больших включений и по границам зерен аустенита. Доказано, что коррозионные потери сплава больше зависят от его структурной гетерогенности, чем от изменения химического состава в пределах стандарта. Кроме того установлено, что большие включения нитридов и оксисульфид титана катодно защищают сплав 06ХН28МДТ и тем самым уменьшают коррозионные потери Cr, Ni и Fe из питтингов и по границам зерен аустенита.

**Ключевые слова:** модельная оборотная вода, коррозионные потери, хлоридсодержащая среда, питтинговая коррозия, коррозионно-стойкий сплав.

### **Narivskiy O.E. Corrosion behaviour of alloy 06ХН28МДТ in the model for recycled water precipitation**

The corrosion behavior of the alloy in the model 06ХН28МДТ circulating water with pH 4 and chloride concentration of 600 mg/l is studied. The regularities and mechanisms of corrosion dissolution of Cr, Ni and Fe alloy are provided. It is shown that corrosion loss of the alloy mainly occurs in large inclusions and the austenite grain boundaries. The loss of the alloy corrosion is proved to depend more on the structural heterogeneity than chemical structure changing within the standards. Large inclusions of oxysulfide titanium and nitride are proved to cathodically protect 06ХН28МДТ alloy and thereby reduce the corrosion losses Cr, Ni and Fe of the pits and the austenite grain boundaries.

**Keywords:** model recycled water, corrosive loss, chloride-containing environments, pitting corrosion, corrosion-resistant alloy.

УДК 64-11+614.78

Доц. В.В. Попович<sup>1</sup>, канд. с.-г. наук;  
викл. Н.П. Попович<sup>2</sup>; студ. М.М. Кравчук<sup>1</sup>

### **КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ (РАДІОАКТИВНИХ) ВІДХОДІВ**

Наведено основні характеристики спеціальних транспортних засобів для перевезення небезпечних (радіоактивних) відходів, які виготовляють в Україні. Розраховано граничну відстань транспортування небезпечних відходів, середньорічну продуктив-

<sup>1</sup> Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

<sup>2</sup> Львівський ДУ внутрішніх справ