

**ТОВ завод «Укрспецмаш»**

**ДОВІДКА**

**про наукову та науково-організаційну діяльність  
технічного директора заводу**

**Нарівського Олексія Едуардовича**

**Запоріжжя – 2024**

## Довідка

про наукову та науково-організаційну діяльність технічного директора заводу ТОВ «Укрспецмаш» Нарівського Олексія Едуардовича

Доктор технічних наук О. Е. Нарівський відомий вчений в галузі корозії та протикорозійного захисту сталей і сплавів. Він зробив вагомий внесок у розвиток теорії пітінгової корозії сталей і сплавів, що пасивуються, розробив нові методи визначення пітінготривкості теплообмінного обладнання в оборотних низькомінералізованих водах для енергетичної, нафтопереробної, хімічної, нафтохімічної промисловості тощо. Обґрунтував нову методологію визначення швидкості підростання пітінгів на поверхні теплообмінників, розробив і впровадив у виробництво новий конструктивний елемент газоохолоджувачів турбогенераторів атомних та теплових електростанцій з підвищеним опором корозійно-механічному руйнуванню, що дало можливість підвищити надійність їх експлуатації. Нарівський О.Е. народився 7 березня 1966 р. у Павлограді, Дніпропетровської області. У 1990 році закінчив з відзнакою Запорізький машинобудівний інститут за спеціальністю «Обладнання та технологія зварювального виробництва» та одержав кваліфікацію інженера-механіка. Під час навчання в інституті паралельно з відзнакою закінчив професійно-технічне училище №14 м. Запоріжжя та одержав професію електрозварювальника. З 1990 по 2010 роки працював на заводі «Павлоградхіммаш» на посадах майстра зі зварювання, начальника котельно-зварювального, парасилового цехів та директора з якості. У 2004 році поступив, а у 2008 закінчив аспірантуру в Запорізькому національному технічному університеті за спеціальністю «Матеріалознавство». У 2009 р. захистив кандидатську дисертацію «Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах», а згодом у 2015 р. докторську «Закономірності і механізми локальної корозії корозійнотривких сталей і сплаву аустенітного класу для ємнісної та теплообмінної апаратури». З 2010 по 2016 роки працював на ПрАТ «Азовський машинобудівний завод» на посаді заступника генерального директора з наукових питань. З 2016 року дотепер працює на заводі ТОВ «Укрспецмаш» технічним директором та за сумісництвом на посаді професора кафедри фізичного матеріалознавства національного університету «Запорізька політехніка».

Наукова діяльність О.Е. Нарівського зосереджена, в основному, на розвитку теоретичних і практичних засад оцінки та прогнозування тривкості теплообмінного, ємнісного та іншого обладнання, яке застосовують в енергетичній, хімічній та інших галузях економіки України, до локальної корозії в умовах його експлуатації. У цій галузі він має такі наукові досягнення:

- Встановив, що інтенсивність розчинення основних складових із стабільних пітінгів на поверхні хромонікелевих сталей і сплавів зростає у такому ряду:  $\Delta\text{Cr}$ ,  $\Delta\text{Fe}$ ,  $\Delta\text{Ni}$  або  $\Delta\text{Cr}$ ,  $\Delta\text{Ni}$ ,  $\Delta\text{Fe}$ , а метастабільних:  $\Delta\text{Fe}$ ,  $\Delta\text{Cr}$ ,  $\Delta\text{Ni}$  або  $\Delta\text{Fe}$ ,  $\Delta\text{Ni}$ ,  $\Delta\text{Cr}$ . Така тенденція підтримується твердофазною

дифузією атомів Fe і Ni із нанооб'ємів металу в околі стабільних та Cr – метастабільних пітінгів до їх поверхні, що сприяє інтенсивнішому підростанню стабільних пітінгів, але руйнування «кришок» із залишків оксидної плівки над метастабільними і стабільними пітінгами сприяє вільному доступу кисню до їх поверхні та репасивації.

- Розробив новий критерій ідентифікації метастабільних і стабільних пітінгів на поверхні корозійнотривких сталей і сплавів, який ґрунтується на встановлених характерних особливостях селективного розчинення Cr і Fe в них.
- Обґрунтував й запропонував новий підхід до оцінювання швидкості підростання стабільних пітінгів на поверхні хромонікелевих сталей і сплавів, який ґрунтується на встановлених характерних особливостях селективного розчинення Ni і Fe в них.
- Запропонував і розробив новий підхід до розв'язання проблеми оцінки та прогнозування пітінготривкості теплообмінного обладнання з корозійнотривких сталей і сплавів в оборотних низькомінералізованих водах підприємств, який ґрунтується на розроблених математичних моделях заснованих на багатомірних регресіях різних порядків і нейронних моделях прямого поширення сигналу, що встановлюють взаємозв'язок між критичними температурами пітінгування сталей і сплавів та їх хімічним складом, складовими структури і параметрами модельних оборотних вод. Це дало можливість встановити, що їх пітінготривкість, в основному, залежить від параметрів середовища, а вплив структурної гетерогенності і вмісту хрому менший.
- Розробив новий метод визначення швидкості підростання стабільних пітінгів на поверхні корозійнотривких сталей і сплавів, який ґрунтується на встановлених закономірностях і механізмах пітінгової корозії, що дало можливість прогнозувати час до перфорації теплообмінних елементів теплообмінників у разі їх пітінгування в оборотних водах підприємств.
- Розробив та впровадив у виробництво новий підхід до оцінки і прогнозування тривкості теплообмінників з корозійнотривких сталей і сплавів до міжкристалічної корозії в високоокиснювальних середовищах, який ґрунтується на встановлених закономірностях і механізмах корозійного руйнування меж зерен аустеніту, враховуючи виявлені характерні особливості селективного розчинення металів на них.
- Розробив і впровадив у виробництво новий конструктивний елемент ущільнювання теплопередавальних трубок в трубних решітках газоохолоджувачів турбогенераторів атомних і теплових електростанцій з підвищеною опірністю корозійно-механічному руйнуванню, що

підвищило герметичність кріплення кінців теплопередавальних трубок газоохолоджувачів у трубних решітках.

- Встановив, що у визначеному діапазоні циклічних напружень збільшення ступеня розвальцювання теплопередавальних трубок в отворах трубних решіток газоохолоджувачів турбогенераторів до максимального значення згідно зі стандартом підвищує їх опір корозійно-втомному руйнуванню в 1,5 рази, що разом з обварюванням кінців мідних труб з плакованим шаром із міді на поверхні трубних решіток суттєво підвищило надійність роботи турбогенераторів електростанцій.

У своїх наукових працях О.Е. Нарівський розвинув теоретичні основи пітінгової корозії корозійнотривких сталей і сплавів у хлоридовмісних середовищах. Зокрема, запропонував використовувати коефіцієнти селективного розчинення Cr і Ni із пітінгів для їх ідентифікації. Встановив закономірності і механізми пітінгування корозійнотривких сталей і сплавів у модельних оборотних водах, які ґрунтуються на розроблених математичних моделях, що встановлюють взаємозв'язок між їх критичними температурами пітінгування та хімічним складом, складовими структури і параметрами хлоридовмісного середовища, та виявлених характерних особливостях селективного розчинення основних складових із пітінгів. Це дало можливість виявити, що вплив параметрів середовища на пітінготривкість сталей і сплавів найсуттєвіший, а вмісту Cr в межах стандарту найменший, що підтверджує теорію плівко-адсорбційної пасивності конструкційних матеріалів за таких умов випробувань. Розробив методику визначення швидкості підростання стабільних пітінгів на поверхні сталей і сплавів, які використовують у виробництві теплообмінників.

Нарівський О.Е. використав результати досліджень у розроблених технічних умовах на виготовлення теплообмінного, ємнісного, колонного та іншого обладнання для енергетичної, хімічної, нафтопереробної, газотранспортної галузей економіки України. Наприклад, він розробив технічні умови ТУ У29.2-31424275-11-2018 «Газоохолоджувач ГО-1800/5453-УЗ турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ», де застосував результати досліджень Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України та заводу ТОВ «Укрспецмаш», який з 2018 по 2020 роки виготовив для ВП «Запорізька АЕС» 16 газоохолоджувачів з підвищеною опірністю корозійній втомі та герметичністю зварно-вальцьованих з'єднань теплопередавальних трубок в отворах трубних решіток. Для реалізації конструктивних змін в газоохолоджувачах технічний директор заводу ТОВ «Укрспецмаш» розробив та реалізував проект електродугової плакування поверхні трубних решіток міддю, розробив та впровадив у виробництво технології наплавлення міді на поверхні трубних решіток газоохолоджувачів із низьколегованої сталі 09Г2С та аргонодугового зварювання кінців теплопередавальних труб з міді з плакованим шаром, враховуючи розроблені інститутом і заводом вимоги до нього та перехідної зони між ним і основним металом та зварних з'єднань.

Нарівський О.Е. виконує значну роботу як член Науково-технічної ради Міністерства енергетики України (секція ядерна безпека), Міжвідомчої науково-технічної ради з проблем корозії та протикорозійного захисту металів при президії НАН України, організаційного комітету міжнародної конференції «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів» та започаткував і організував міжнародну науково-практичну конференцію «Підвищення надійності та довговічності обладнання нафтогазової та хімічної промисловості», яка присвячена корозії та протикорозійному захисту обладнання.

У 2023 році О.Е. Нарівський заснував і очолив науково-дослідний проектний центр «Інноваційні технології в машинобудуванні» при національному університеті «Запорізька політехніка». У рамках реалізації науково-технічних завдань центру на 2023 рік він організував науково-дослідні роботи спільно з Фізико-механічним інститутом ім. Г.В. Карпенка НАН України на замовлення ТОВ «Укрізоліт», м. Світловодськ, ДП «Івченко-Прогрес», м. Запоріжжя тощо.

Більше 7 років О.Е. Нарівський працює за сумісництвом на посаді професора на кафедрі фізичного матеріалознавства національного університету «Запорізька політехніка», застосовуючи результати своїх досліджень у підготовці фахівців. Він читав лекції англійською мовою для студентів Казахського національного університету ім. Аль-Фарабі м. Алмати, Казахстан та читає три курси лекцій для студентів Сіаньського транспортного університету, м. Сіань, Китай. Нарівський О.Е. керує науково-дослідними роботам аспірантів і докторанта університету, які ґрунтуються на науково-дослідній тематиці кафедри фізичного матеріалознавства і результатах особистих наукових досліджень.

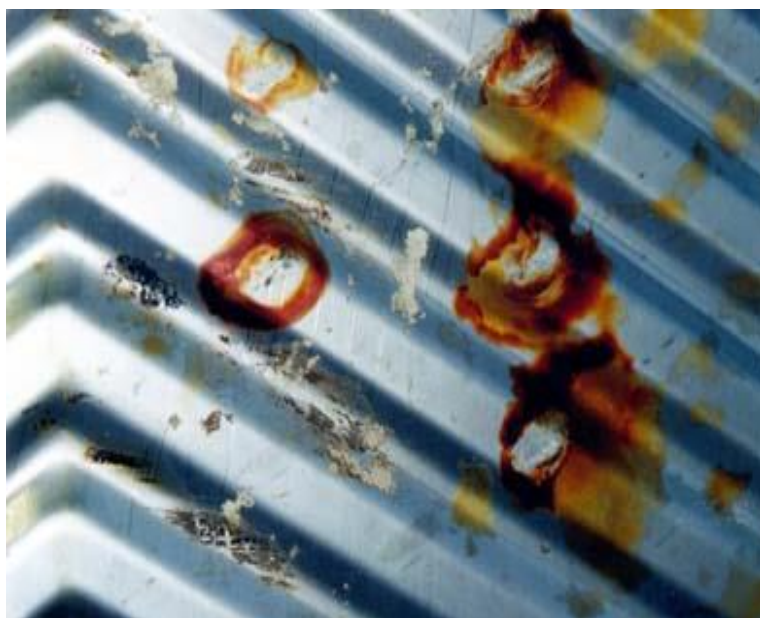
Нарівський О.Е. є автором 2х монографій, 1го довідника зі зварювання, 144 наукових публікацій 83 із яких у фахових виданнях України і зарубіжжя, 16 у наукометричній базі даних Scopus, 18 Web of Science.

## Найважливіші результати

### Мікромеханізми корозійного руйнування пластини пластинчастого теплообмінника в оборотній воді під осадам



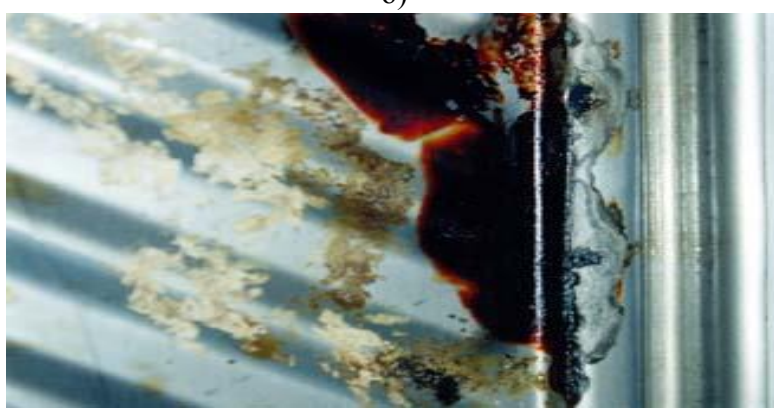
а)



б)



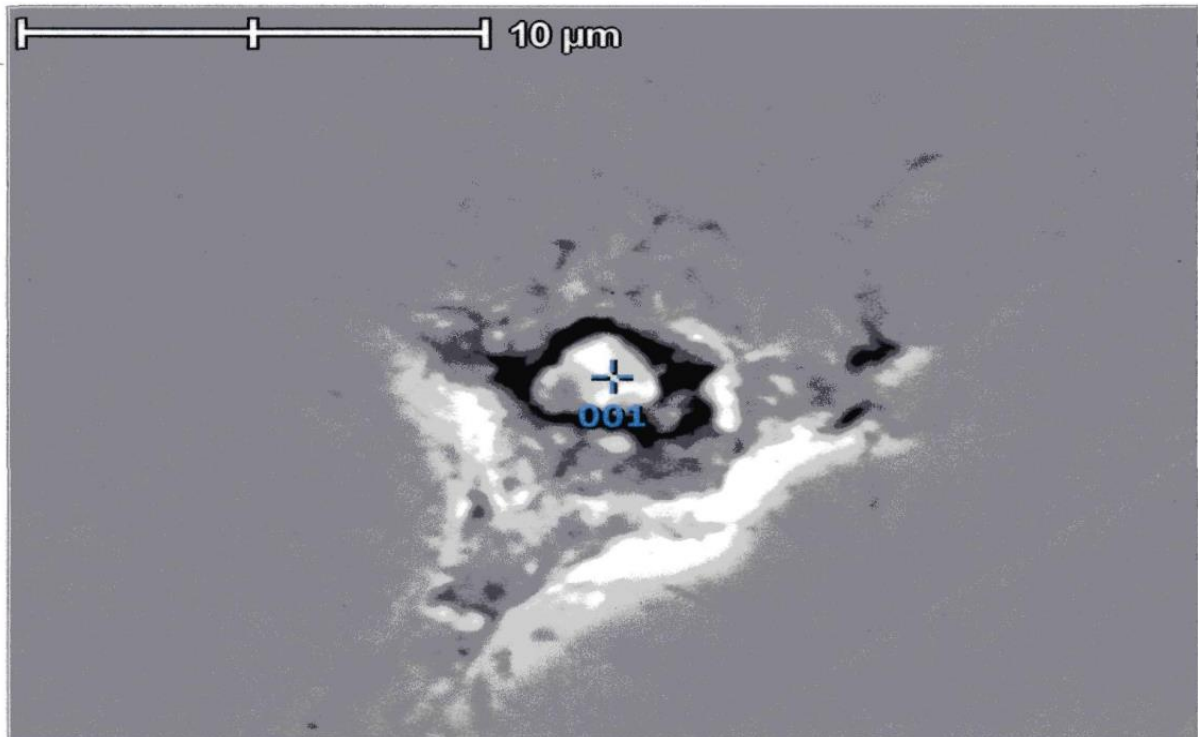
в)



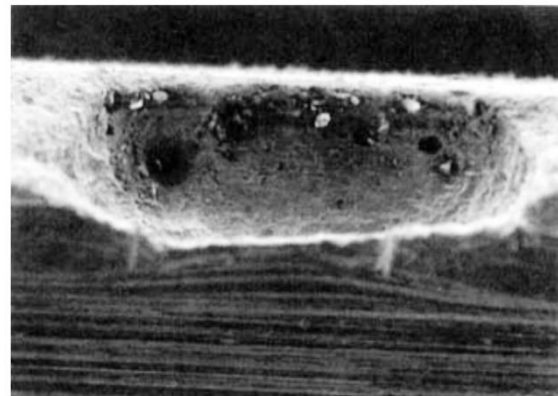
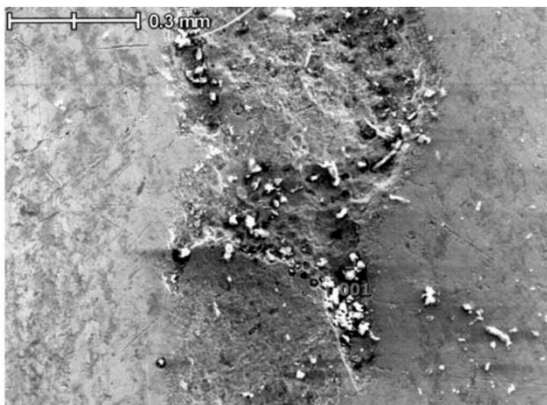
г)

Корозійні пошкодження на теплопередавальній пластині пластинчастого теплообмінника зі сталі AISI 321: а- загальний вигляд розташування локальних корозійних пошкоджень; б- на вершинах гофрів; в- біля колекторного вікна; г- уздовж торця пазу під ущільнювальну прокладку



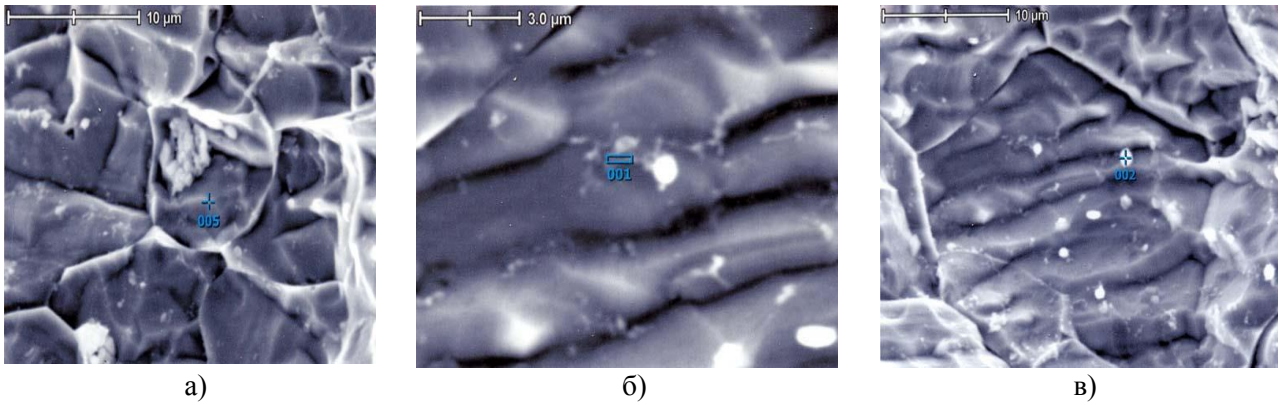


**Пітінг в околі оксидного включення на пластині теплообмінника ( $\times 6000$ )**

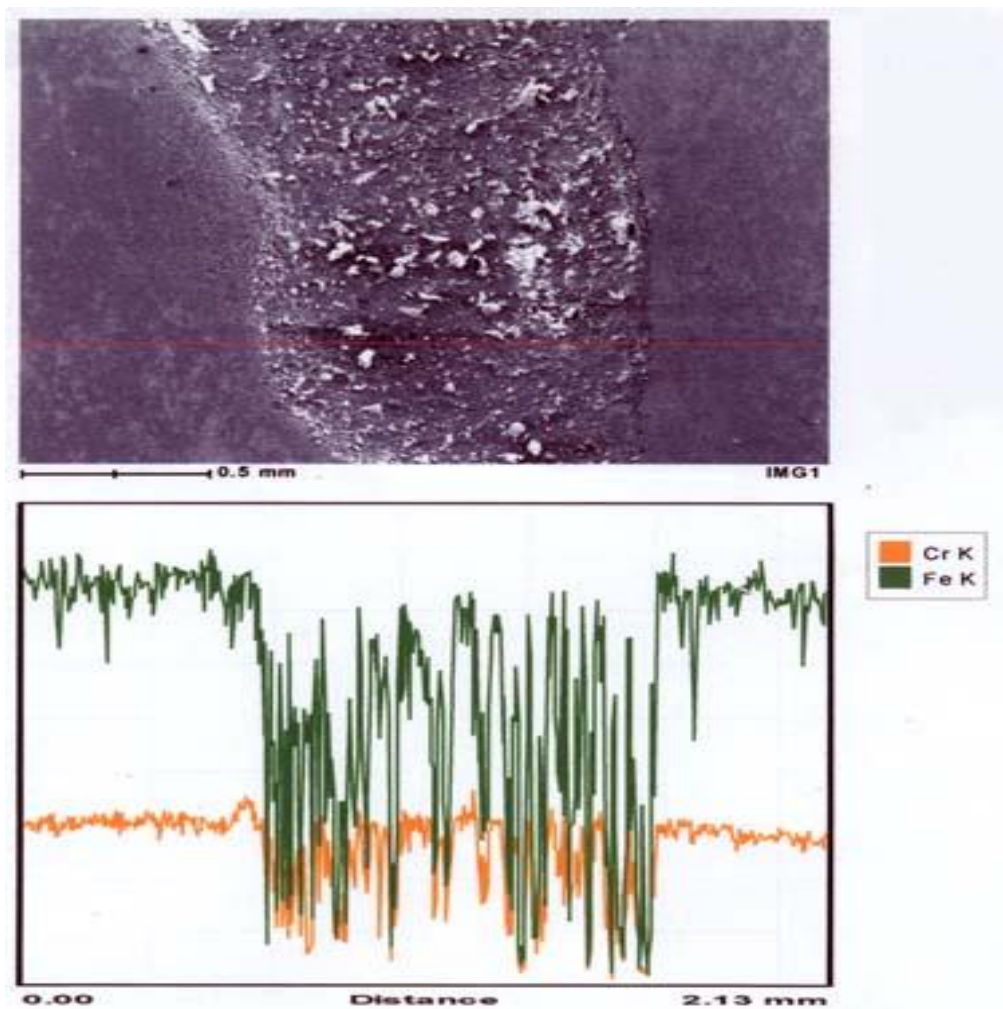


**Корозійна виразка на вершині гофри пластини теплообмінника, яка утворилася із пітінгів під осадам з оборотної води**

Хімічний аналіз пасивної поверхні теплопередавальної пластини теплообмінника зі сталі AISI 321 та корозійної виразки на вершині її гофри, яка утворилася із пітінгів під осадам з оборотної води, проведений енергодисперсійним методом. Встановлено, що в корозійній виразці залізо розчинялося інтенсивніше, ніж хром. Це може свідчити про селективний характер розчинення металів у ній.

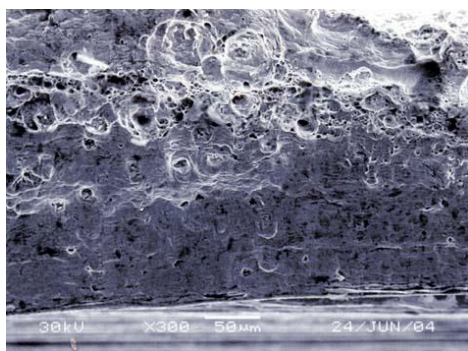


Бічна поверхня корозійної виразки на пластині теплообмінника зруйнувалася за змішаним механізмом, тобто міжзеренним (а, б) та сколом (в), що притаманне водневому окрихчуванню.

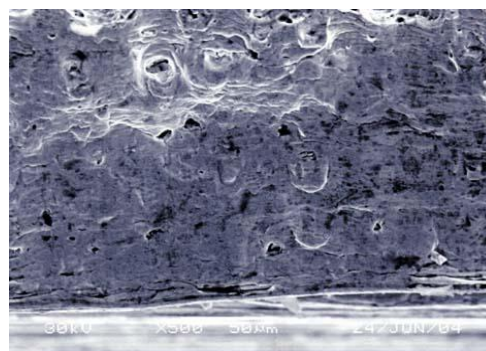


Діаграма енерго-дисперсійного аналізу пасивної поверхні та корозійної виразки на вершині гофри пластини теплообмінника

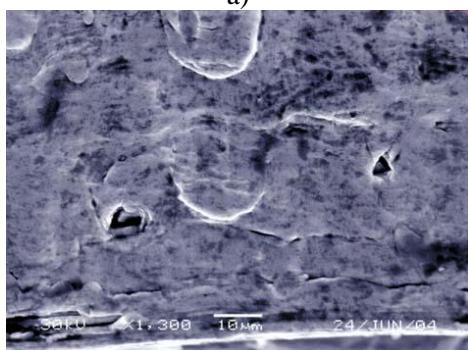




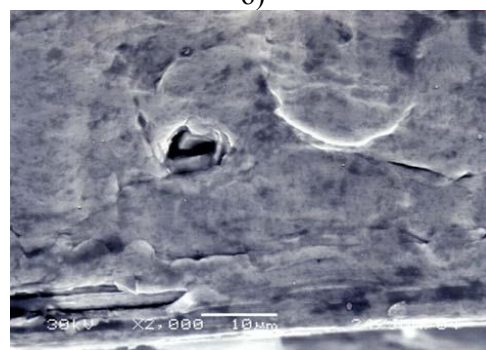
а)



б)



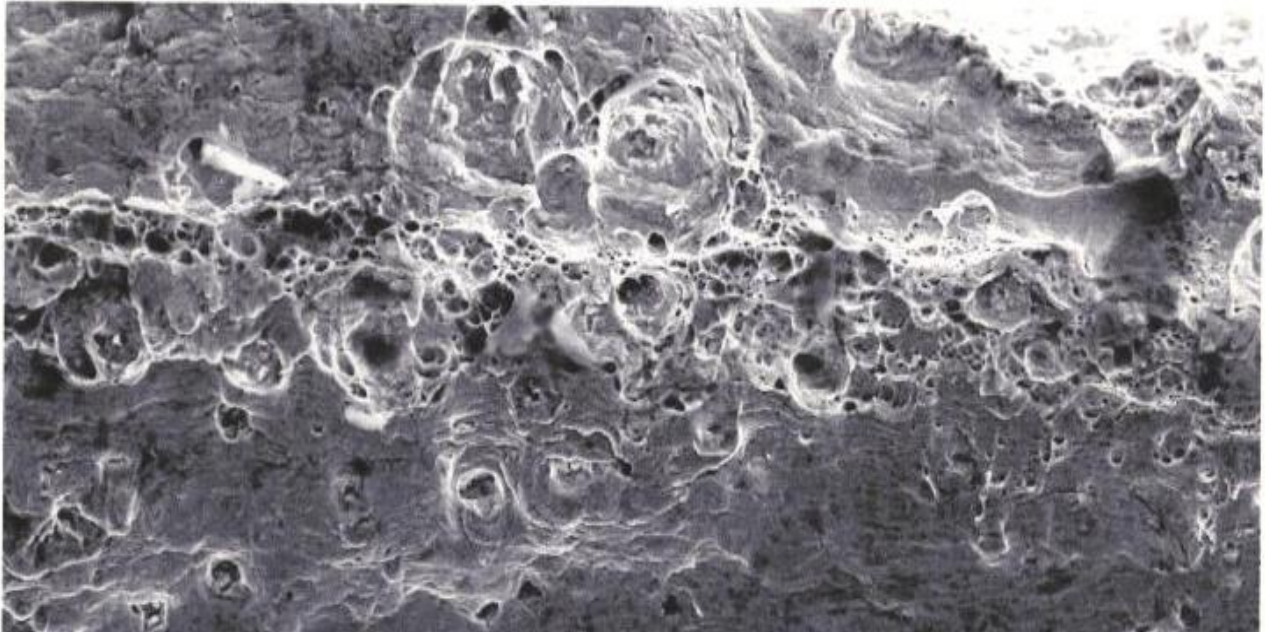
в)



г)

**Злам зразка з пластини теплообмінника під корозійною виразкою: а, б – гребні відриву, язика, сходинки; в, г – фасетки**

Злами зразка під корозійною виразкою на пластині теплообмінника свідчать про крихке руйнування металу під нею, оскільки нижче борозенок циклічної втоми (а, б) зафіксовано поверхню вкриту гребнями відриву, язиками, сходинками та фасетками (в, г), що за складної мікроструктури є квазісколом, який притаманний водневому окрихчуванню. Підростання корозійних виразок протікало внаслідок анодних процесів на її поверхні, що підтримуються катодними процесами відновлення водню на її поверхні та кисню на пасивній поверхні пластини теплообмінника в околі виразки. Поверхневий шар металу в пітінгах та виразці, зазнавши корозійних втрат  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$  і  $\Delta Fe$ , реорганізовується. Зокрема, твердофазна дифузія атомів Fe до поверхні стабільних пітінгів та корозійної виразки призводить до зародження пор і корозійних каналів під ними, пришвидшуючи їх підростання. Твердофазна дифузія атомів заліза за таких умов зумовлена селективним характером його розчинення в пітінгах та корозійних виразках.



**Корозійні канали на поверхні корозійної виразки та під нею**

### **Характерні особливості розчинення металів у пітінгах та їх ідентифікація**

Критерієм для ідентифікації метастабільних і стабільних пітінгів є коефіцієнт селективного розчинення Cr із них ( $Z_{Cr}$ ).

Зокрема, якщо коефіцієнт  $Z_{Cr} < 1$ , то сталь або сплав пітінгує з утворенням стабільних пітінгів, а якщо  $Z_{Cr} > 1$ , то метастабільних.

Коефіцієнт селективного розчинення Ni із пітінгів ( $Z_{Ni}$ ) запропоновано використовувати для оцінки інтенсивності підростання стабільних пітінгів. Зокрема, якщо коефіцієнт  $Z_{Ni} < 1$ , то стабільні пітінги інтенсивно підростають, тому що основний компонент сталі або сплаву Fe інтенсивніше розчиняється із них, ніж Ni.

Коефіцієнти селективного розчинення Cr і Ni із пітінгів на поверхні сталей і сплавів визначали за такою формулою:

$$Z_{(Cr,Ni)} = \frac{\Delta m_{(Cr,Ni)} \times m_{(Fe)}}{\Delta m_{(Fe)} \times m_{(Cr,Ni)}}$$

де:  $\Delta m_{(Cr,Ni)}$  - вміст Cr або Ni у розчинах після витримки у них зразків, мг;

$\Delta m_{(Fe)}$  - вміст Fe у розчинах після витримки у них зразків, мг;

$m_{(Fe)}$  – вміст Fe у сталях і сплавах, які досліджуються, мас. %;

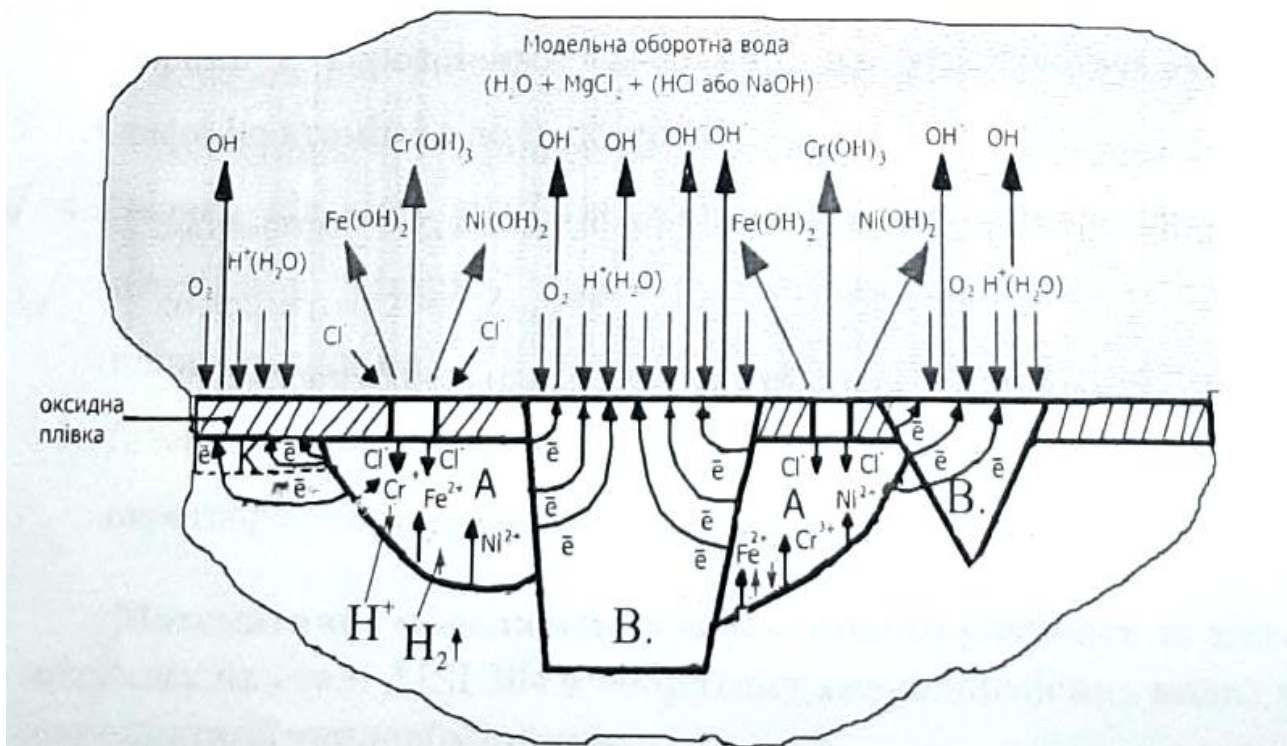
$m_{(Cr,Ni)}$  - вміст Cr або Ni у сталях і сплавах, які досліджуються, мас. %.

Встановлено, що в оборотних водах, де сталь або сплав пітінгує, поверхня метастабільних пітінгів збагачується Fe та збіднюється Cr і Ni, що може сприяти твердофазній дифузії атомів Fe в їх об'єм, а Cr і Ni – у протилежному

напрямку. Виявлено, що в модельних оборотних водах, де сталі або сплави пітінгують, поверхня стабільних пітінгів збагачується Cr та збіднюється Fe і Ni, що може сприяти твердофазній дифузії атомів Cr в їх об'єм, а Fe і Ni – у протилежному напрямку. Ці особливості селективного розчинення металів із пітінгів визначають механізми за якими хімічний склад та складові структури сталей і сплавів впливають на їх корозійні втрати в пітінгах.

## Початкова стадія пітінгування сталей і сплавів Метастабільні пітінги

1. Зароджуються в околі включень внаслідок локального пошкодження оксидної плівки.
2. Повільно підростають внаслідок іонізації металів у них за реакцією  $Me \rightarrow Me^{n+} + n\bar{e}$ , яку підтримують катодні реакції відновлення кисню на пасивній поверхні сталі або сплаву  $O_2 + 2H_2O + 4\bar{e} \rightarrow 4OH^-$  у лужному і нейтральному хлоридовмісному середовищі та  $O_2 + 2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow 2OH^-$  у кислому.
3. Репасивуються внаслідок руйнування «кришок» із залишків оксидної плівки над ними, вільного доступу кисню до них та утворення щільної оксидної плівки збагаченої хромом в процесі зустрічної твердофазної дифузії його атомів та кисню на їх поверхні.



**Схема початкової стадії пітінгування сталей і сплавів в оборотних хлоридовмісних водах:**

А – анодна ділянка (пітінг);

К – катод;

В – включення;

↑ – напрямок руху електронів, катіонів та аніонів



## Стабільні пітинги

1. Зароджуються в околі включень внаслідок пошкодження оксидної плівки.
2. Підростають внаслідок іонізації металів у пітингах за реакцією  $Me \rightarrow Me^{n+} + n \bar{e}$ , яку підтримують катодні реакції відновлення кисню на пасивній поверхні сталей і сплавів ( $n=2$  для метастабільних пітингів) та іонів водню на поверхні пітингів за реакцією  $2H^+ + 2 \bar{e} \rightarrow H_{адс}$ , що сприяє окрихчуванню металу в їх околі.
3. Інтенсивно підростають внаслідок руйнування розвинутої поверхні із порами й корозійними каналами, що утворюються через твердофазну дифузію атомів Fe до їх поверхні.
4. Значна кількість пітингів репасивується внаслідок руйнування «кришок» із залишків оксидної плівки над ними, що сприяє інтенсивному підростанню решти та уможливує їх перетворення в корозійні виразки.

Обмежений доступ кисню до поверхні метастабільних та стабільних пітингів через отвори в «кришках» із залишків оксидної плівки над ними сприяє їх підростанню. Але навіть за таких умов деякі метастабільні пітинги можуть репасивуватися внаслідок утворення на їх поверхні оксидної плівки збагаченої хромом, що зумовлено зустрічною твердофазною дифузією його атомів та атомів кисню в нанооб'ємах металу в їх околі. Вібрація теплообмінників при їх експлуатації, можливий турбулентний рух води в оборотних системах підприємств та наявність твердих часток із осаду може сприяти руйнуванню «кришок» із залишків оксидної плівки над метастабільними і стабільними пітингами, що призводить до їх репасивації. Характерні особливості селективного розчинення металів у стабільних пітингів, які згадувалися вище, та підвищення густини анодних струмів у них внаслідок їх перерозподілу між тими, що залишилося після репасивації більшості метастабільних і стабільних пітингів, можуть призвести до перфорації теплообмінних елементів теплообмінників. Ці процеси мають стохастичний характер, але автор, застосовуючи розроблені ним підходи, розробив методи оцінювання і прогнозування пітинготривкості конструкційних матеріалів та швидкості підростання стабільних пітингів у разі їх пітингування в оборотних водах підприємств.

### Математичне моделювання селективного розчинення металів у пітингах на сталі AISI 304 в оборотних водах при експлуатації теплообмінників

Для встановлення залежностей між корозійними втратами ( $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$ ,  $\Delta Fe$ ) сталі AISI 304 із пітингів та її хімічним складом і складовими структури будували багатомірні регресійні моделі другого порядку.

$$y(\Delta Cr, \Delta Ni, \Delta Fe) = W_0 + \sum_{j=1}^N W_j X_j + \sum_{j=1}^N W_{(N+1)} X_j^2$$

Застосовуючи відомі літературні дані про факторний аналіз впливу окремих факторів  $X=\{x_1, x_2, \dots, x_{18}\}$  на результативні показники  $Y_1, Y_2, Y_3$ , розраховано ваги багатомірної регресії для  $y_1 (\Delta Cr)$ ,  $y_2 (\Delta Ni)$ ,  $y_3 (\Delta Fe)$ .

Аналіз математичних моделей показав, що  $\Delta Fe$  сталі AISI 304 із пітінгів знижуються зі збільшенням у ній кількості оксидів (1,98...3,95 мкм), середнього діаметру зерна аустеніту та зменшенням середньої відстані між оксидами і об'єму  $\delta$ -фериту.

Корозійні втрати  $\Delta Ni$  із пітінгів знижуються зі збільшенням у сталі кількості оксидів (1,98...3,95 мкм), об'єму  $\delta$ -фериту та зниженням середнього діаметру зерна аустеніту.

Корозійні втрати  $\Delta Cr$  із пітінгів ростуть зі збільшенням концентрації хлоридів в оборотних водах в інтервалі 300...600 мг/л, кількості оксидів (1,98...3,95 мкм) та середнього діаметру зерна аустеніту. Але концентрація хлоридів в 32,3 рази інтенсивніше впливає на  $\Delta Cr$  сталі із пітінгів, ніж ці складові її структури.

### **Пітінготривкість сталі AISI 304 в оборотних водах залежно від її хімічного складу і структурної гетерогенності**

Побудована математична модель, що описує залежність КТП (критична температура пітінгування) сталі AISI 304 від її хімічного складу і структурної гетерогенності в оборотних водах з рН 4–8 і концентрацією хлоридів від 350 до 600 мг/л. Вона ґрунтується на багатомірній регресії першого порядку.

$$\text{КТП} = W_o + 0,32934 \text{ pH} - 0,053423 \text{ Cl}^- + 0,049534 d_3 + 0,024811 L_{\text{ок}} - 3,6591 \text{ Mn} + 2,2966 \text{ Cr} + 0,060093 \text{ Ni}$$

Аналіз математичної моделі показав, що лише концентрація хлоридів, середня відстань між оксидами в сталі та вміст у ній Cr суттєво впливають на її пітінготривкість в оборотній воді. Водночас негативний вплив хлоридів більше ніж удвічі вище, ніж позитивний хрому та середньої відстані між оксидами в сталі. Ця модель дає можливість прогнозувати пітінготривкість сталі AISI 304 в оборотних водах та вибирати оптимальні плавки для виробництва теплообмінників за таких умов їх експлуатації.

Математична модель, яка ґрунтується на прямоспрямованій нейронній мережі з одним виходом точніша за попередню, але вона не придатна для аналізу впливу параметрів оборотних вод, хімічного складу і структури сталі на її пітінготривкість. Її рекомендовано застосовувати для прогнозування пітінготривності теплообмінників в оборотних системах підприємств.

$$y(\text{КТП}) = \Psi^{(2,1)} \left[ W_o^{(2,1)} + \sum_{i=1}^{24} W_j^{(2,1)} \Psi^{(1,i)} \left[ W_o^{(1,i)} + \sum_{j=1}^N W_j^{(1,i)} X_j^S \right] \right]$$

де:  $\Psi^{(\eta,i)}$  – функція активації і-го нейрона  $\eta$ -го шару нейромережі;

$$\Psi^{(2,1)}(a) = a, \Psi^{(1,i)}(a) = \frac{2}{1 + e^{2a}} - 1$$



## Математичне моделювання селективного розчинення металів у пітінгах на сталі AISI 321 в оборотних водах при експлуатації теплообмінників

Розроблена нейромережева математична модель встановлює взаємозв'язок між корозійними втратами ( $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$ ,  $\Delta Fe$ ) сталі AISI 321 із пітінгів, коефіцієнтами  $Z_{Cr}$  і  $Z_{Ni}$  та її хімічним складом і складовими структури в оборотних водах з рН 4–8 і концентрацією хлоридів 300–600 мг/л. Загальна формула для визначення вихідної ознаки на основі двошарової нейронної мережі прямого поширення сигналу має такий вигляд:

$$y(\Delta Cr, \Delta Ni, \Delta Fe) = W_o^{(2,1)} + \sum_{i=1}^N W_i^{(2,1)} \Psi[W_o^{(1,i)} + \sum_{j=0}^N W_j^{(1,i)} X_j^S]$$

де:  $\Psi(a) = \frac{2}{1+e^{-2a}} - 1$

$y^S$  – значення на виході з мережі ( $\Delta Cr, \Delta Ni, \Delta Fe$ );

$W_j^{(\eta,i)}$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го входу  $i$ -го нейрона  $\eta$ -шару мережі;

$X_j^S$  – значення  $j$ -ої вхідної ознаки  $S$ -го екземпляру (спостереження вибірки);

$N_i$  – число нейронів у прихованому шарі.

Аналіз парної кореляції вхідних ( $x_1 \dots x_{17}$ ) та вихідних ознак ( $y_1 \dots y_5$ ) показав, що параметри оборотних вод  $x_1$  (кислотність середовища, рН) та  $x_2$  ( $Cl^-$  - концентрація хлоридів у модельних оборотних водах) найбільш особисто значимі для вихідних ознак ( $y_1, y_2, \dots, y_5$ ). Між рештою вхідних ( $x_3, x_4, \dots, x_{17}$ ) та вихідних ознак ( $y_1, y_2, \dots, y_5$ ) кореляція дуже низька.

Ознаки:

$y_1$  – корозійні втрати  $\Delta Cr$  із пітінгів, мг;

$y_2$  – корозійні втрати  $\Delta Fe$  із пітінгів, мг;

$y_3$  – корозійні втрати  $\Delta Ni$  із пітінгів, мг;

$y_4$  – коефіцієнт селективного розчинення Cr із пітінгів ( $Z_{Cr}$ );

$y_5$  – коефіцієнт селективного розчинення Ni із пітінгів ( $Z_{Ni}$ );

$x_3, x_4, \dots, x_8$  – складові структури сталі AISI 321 (об'єм нітридів титану об.%; середня відстань між ними, мкм; об'єм оксидів, об.%; середня відстань між ними, мкм; середній діаметр зерна аустеніту, мкм; об'єм  $\delta$ -фериту, об.%).

$x_9, x_{10}, \dots, x_{17}$  – вміст хімічних елементів у сталі, мас. %.

Вагові коефіцієнти  $W^{(n,i)}$  не придатні для аналізу впливу хімічного складу і структури сталі AISI321 на  $\Delta Cr$ ,  $\Delta Ni$ ,  $\Delta Fe$ . Але точність цієї моделі є дуже високою, тому її використовують для ідентифікації пітінгів та розрахунку ознак  $y_1, y_2, \dots, y_5$ . Їх застосовують в методиках для визначення швидкості підростання стабільних пітінгів.

### Пітінготривкість сталі AISI 321 в оборотних водах залежно від її хімічного складу і структурної гетерогенності

Застосовуючи багатомірні регресійні залежності різних порядків та нейронні мережі прямого поширення сигналу побудовано математичні моделі, які описують взаємозв'язок між КТП сталі AISI 321 та її хімічним складом і структурною гетерогенністю в оборотних водах.

$$y^S = \sum_{j=1}^N W_j X_j^S, \quad S=1,2, \dots, N$$

де:  $y^S$  – значення вихідної ознаки S-го спостереження виборки (КТП);

$W_j$  – вага j-ої ознаки;

$X_j^S$  – значення j-ої ознаки S-го екземпляра вибірки, ( $x_1$  – рН середовища,  $x_2$  – концентрація у ньому хлоридів мг/л,  $x_4$  – середня відстань між нітридами титану, мкм,  $x_6$  – середня відстань між оксидами, мкм,  $x_7$  – середній діаметр зерна аустеніту, мкм,  $x_{10}$  – вміст Si в сталі, мас. %,  $x_{12}$  – вміст Cr, мас. %);

$N$  – кількість ознак;

$S$  – об'єм (кількість екземплярів виборки).

$$y(\text{КТП}) = 3,328 x_1 - 0,074828 x_2 + 0,16033 x_4 + 0,01786 x_6 + 2,1261 x_{10} + 3,7309 x_{12}$$

Встановлено, що пітінготривкість сталі AISI 321 зростає зі збільшенням рН оборотної води, середньої відстані між оксидами, вмісту Si і Cr та зменшенням середнього діаметру зерна аустеніту і кількості хлоридів. Вплив параметрів оборотної води на пітінготривкість сталі найсуттєвіший.

Математичну модель використовують на машинобудівних заводах при виборі оптимальних плавок сталі AISI 321 для виробництва теплообмінників.

Розроблену математичну модель на основі двошарової нейронної мережі прямого поширення сигналу використовують для оцінки і прогнозування пітінготривкості теплообмінників зі сталі AISI321 в оборотних водах. Точність розрахунку її КТП становить: середнє значення похибки – 0,08°C, а сумарне квадратичне – 2,16.

Прямоспрямовану нейронну мережу з одним виходом описують формулою:

$$y^{(\eta,i)} = \Psi^{(\eta,i)} \left[ W_0^{(\eta,i)} + \sum_{j=1}^{N_\eta} W_j^{(\eta,i)} X_j^{(\eta,i)} \right]; \quad \eta = 1,2 \dots N_\eta; \\ i = 1,2 \dots N, \quad N_o = N$$

де:  $y^{(\eta,i)}$  – значення вихідної ознаки і-го нейрону j-ого шару нейромережі;

$\Psi^{(\eta,i)}$  – функція активного і-го нейрону  $\eta$ -ого шару нейромережі;

$W^{(\eta,i)}$  – ваговий коефіцієнт і-го нейрону j -ого шару нейромережі;

$X_j^{(\eta,i)}$  – значення на j -му вході і-го нейрона  $\eta$ -ого шару нейромережі;

$N_\eta$  – кількість нейронів у  $\eta$ -му шарі нейромережі.

Розроблена модель на основі двошарової нейронної мережі прямого поширення сигналу.

$$y(\text{КТП}) = W_o^{(2,1)} + \sum_{i=1}^{15} W_i^{(2,1)} \Psi^{(1,i)} [W_o^{(1,i)} + \sum_{j=1}^7 W_j^{(1,i)} X_j^{(1,i)}]$$

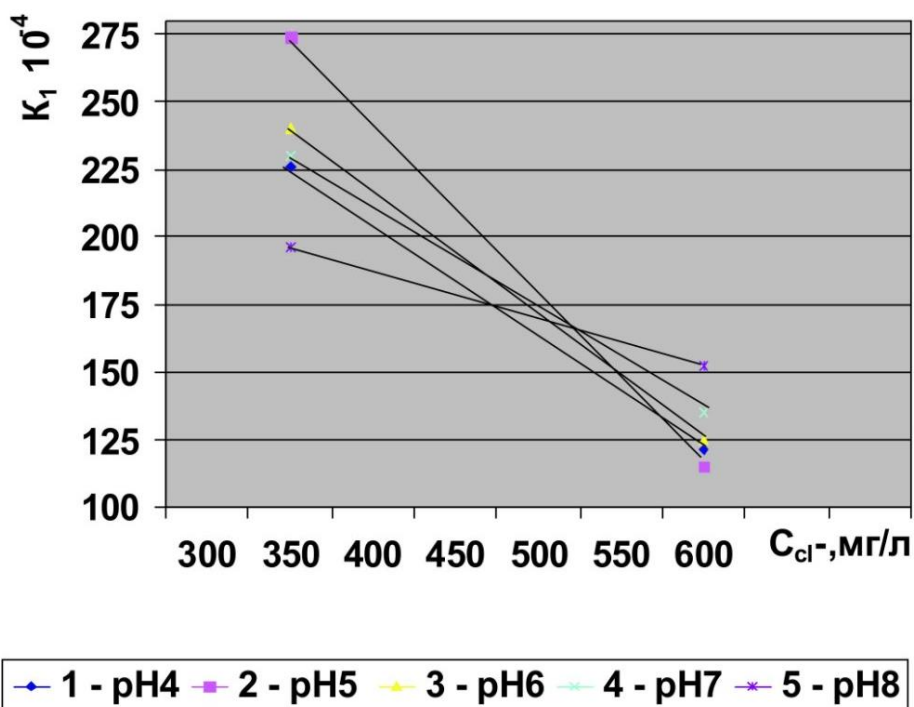
де:  $\Psi^{(1,i)}(a) = \frac{2}{1+e^{-2a}} - 1$  – функція активації  $i$ -го нейрона першого шару мережі;

$W_i^{(2,1)}$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го входу єдиного нейрона другого шару мережі.

### Коефіцієнти участі включень у пітінгуванні корозійнотривких сталей AISI 304, AISI 321 і сплаву 06ХН28МДТ в модельних оборотних водах

Показано, що коефіцієнти участі нітридів титану ( $K_1$ ) у пітінгуванні сталі AISI 321 за прямолінійною залежністю знижуються зі збільшенням концентрації хлоридів у модельних оборотних водах від 350 до 600 мг/л.

Найінтенсивніше зниження коефіцієнта  $K_1$  спостережено у модельних оборотних водах з рН 4;5, а найповільніше - з рН 8. Водночас у модельних оборотних водах з рН 4;5 виявлено найнижчі КТП сталі AISI 321, а з рН8 – найвищі. Таким чином, слабокислі модельні оборотні води з рН 4;5 найнебезпечніші щодо пітінгування сталі AISI 321.

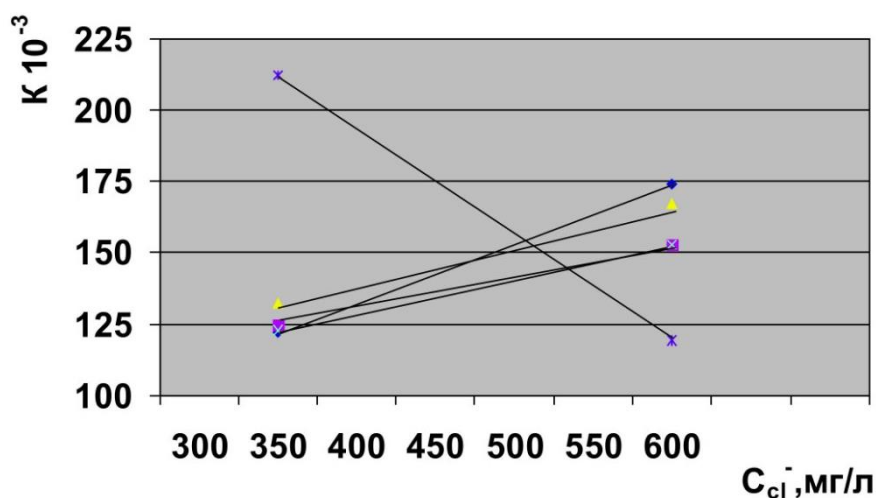


### Коефіцієнти участі нітридів титану ( $K_1$ ) у пітінгуванні сталі AISI321 у модельних оборотних водах залежно від вмісту хлоридів

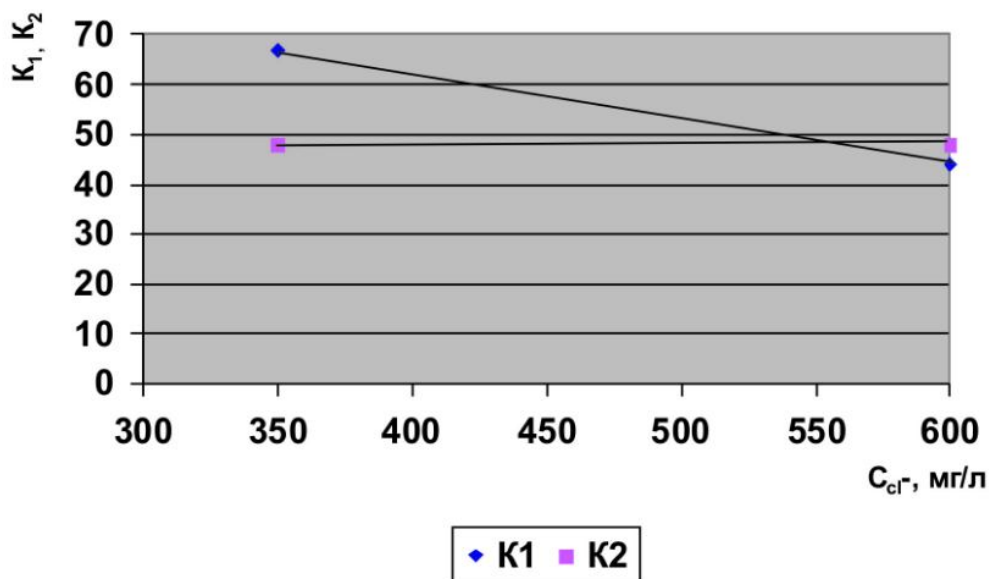
Встановлено, що в модельних оборотних водах з рН4–7 і концентрацією хлоридів від 350 до 600 мг/л коефіцієнти участі оксидів ( $K$ ) у пітінгуванні сталі AISI 304 за прямолінійною залежністю зростають зі збільшенням у них концентрації хлоридів.

В модельній оборотній воді з рН 8 виявлено, що коефіцієнти участі оксидів у пітінгуванні сталі AISI 304 за прямолінійною залежністю знижуються зі збільшенням концентрації хлоридів у модельних оборотних водах. За таких умов кількість пітінгів на поверхні сталі знижується, але швидкість їх підростання зростає.

Встановлено, що коефіцієнти участі сульфідів, оксисульфідів і нітридів титану у пітінгуванні сплаву 06ХН28МДТ не залежать від рН модельних оборотних вод. Коефіцієнти участі нітридів у пітінгуванні сплаву прямолінійно знижуються зі збільшенням концентрації хлоридів у модельних оборотних водах. Але інтенсивність їх зниження менше, ніж у сталі AISI321. Тому швидкість підростання пітінгів на поверхні сплаву менше, ніж сталі AISI321.



**Коефіцієнти участі оксидів титану (K) у пітінгуванні сталі AISI304 у модельних оборотних водах залежно від вмісту хлоридів**



**Коефіцієнти участі сульфідів, оксисульфідів ( $K_1$ ) та нітридів титану ( $K_2$ ) у пітінгуванні сплаву 06ХН28МДТ у модельних оборотних водах залежно від вмісту хлоридів**

Розроблено новий метод розрахунку швидкості підростання стабільних пітінгів на поверхні теплопередавальних елементів теплообмінників. Він ґрунтується на встановлених закономірностях і механізмах пітінгової корозії та селективного розчинення металів у них.

### **Розроблення нових конструктивних елементів газоохолоджувачів (ГО) атомних і теплових електростанцій з підвищеною опірністю корозійно-механічному руйнуванню**

На вітчизняних атомних електростанціях (АЕС) використовують ГО для охолодження магнітопроводів турбогенераторів ТВВ - 1000 /5453. Вони складаються із двох трубних решіток зі сталі 09Г2С з'єднаних між собою теплопередавальними трубками з мельхіору, оребрених алюмінієвим сплавом АД-1-0. Кінці трубок розвальцьовані в отворах трубних решіток.



**Газоохолоджувач**

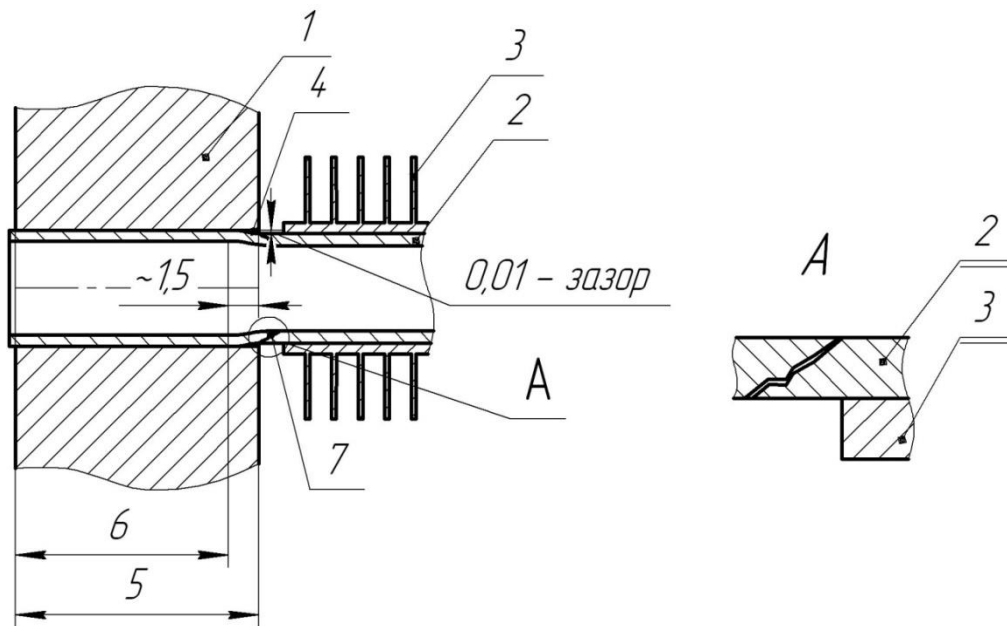


**Трубна решітка  
газоохолоджувача з трубним  
пучком на стенді для збирання**

У міжтрубних порожнинах газоохолоджувача циркулює водень, а в трубних, підготовлена оборотна вода. Вібрація, корозивне середовище з конденсованої води в конструктивних зазорах (0,01 мм) між зовнішньою поверхнею теплопередавальних трубок з отворами трубних решіток може сприяти їх наводнюванню внаслідок катодних реакцій та корозійно-втомному руйнуванню.

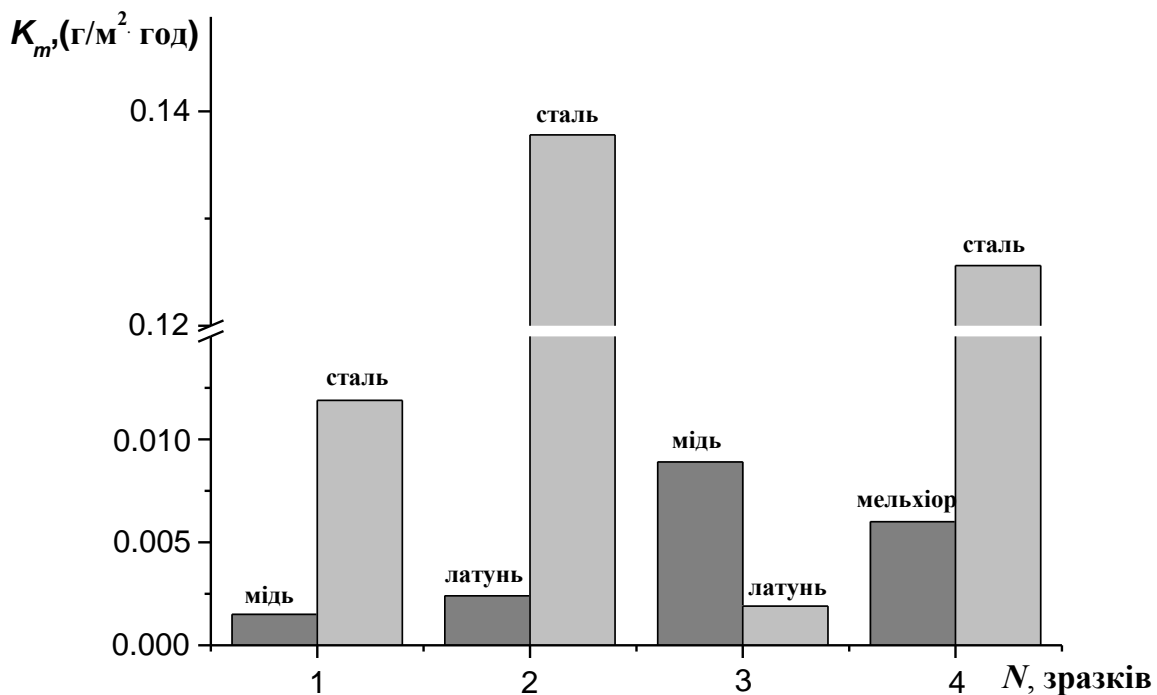
На підставі корозійних випробувань пар металів: мідь - сталь 09Г2С, латунь – сталь, мідь – латунь, мельхіор – сталь та даних про адсорбцію ними водню рекомендовано ВП "Запорізька АЕС" замовляти ГО з мідними теплопередавальними трубками. Адже встановлено, що концентрація водню у зразках з мельхіору МНЖМ 30-1-1, з якого виготовляються теплообмінні трубки, в 17 разів більше, ніж у міді та у 4, 25 рази, ніж у латуні.





### Теплопередавальна оребрена трубка ГО розвальцьована у трубній решітці

1 - трубна решітка ГО (сталь 09Г2С); 2 - теплопередавальна трубка ГО (мельхіор); 3 - оребрення теплопередавальної трубки алюмінієвим сплавом АД-1-0; 4 - зазор між теплопередавальною трубкою ГО та поверхнею отвору трубної решітки у недовальцьованому місці; 5 - товщина трубної решітки ГО, мм; 6 - глибина розвальцьовання теплопередавальної трубки у трубній решітці ГО, мм; 7 - наскрізна корозійно-механічна тріщина



### Швидкість щілинної корозії контактних пар

Для підвищення надійності ущільнювання кінців мідних теплопередавальних трубок в отворах трубних решіток ГО зі сталі 09Г2С запропоновано їх аргонодугове зварювання з плакованим шаром на поверхні трубних решіток з наступним розвальцюванням.

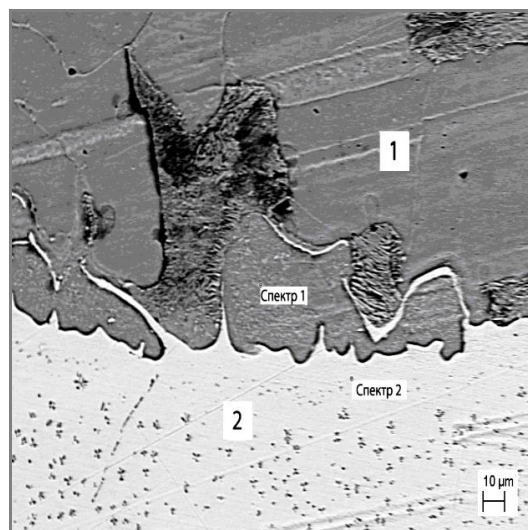
### Концентрації водню в металах

Матеріал	Концентрація водню, ppm
мідь	0,5
латунь	2,0
мельхіор	8,5
сталь 09Г2С	17,5

Основною вимогою до плакованого шару з міді є висока адгезія до основного металу. Вона забезпечується розвинутою поверхнею основного металу та повільним охолодженням наплавленої трубної решітки разом з піччю від 1250 до 350°C впродовж 24 годин.

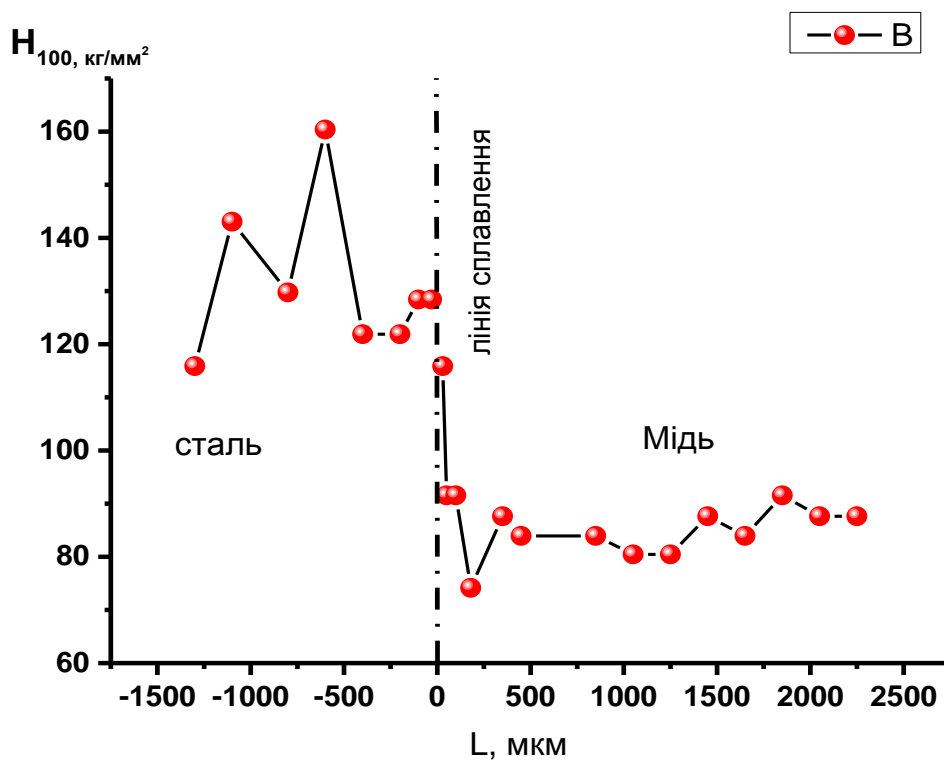


**Кінці теплопередавальних трубок ГО зварені електродуговим способом з плакованою міддю трубною решіткою**



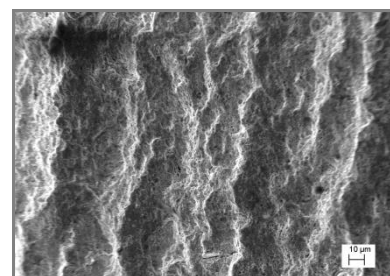
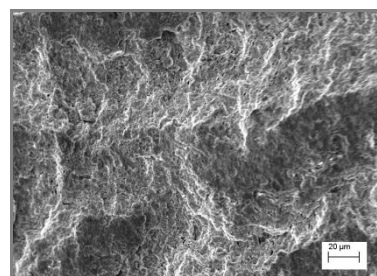
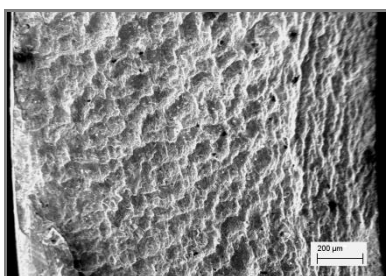
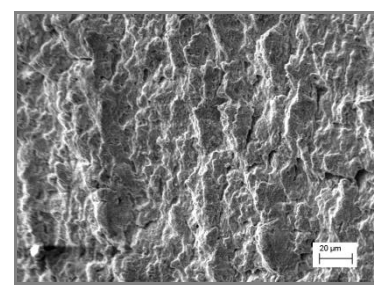
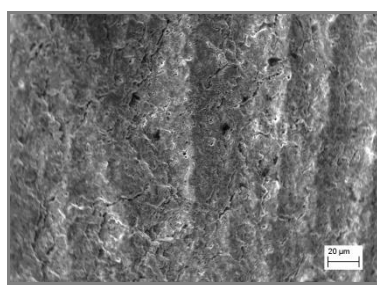
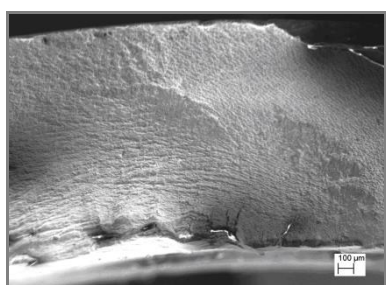
**Перехідна зона між сталлюю поверхнею (1) і плакованим шаром з міді (2)**

## Вимоги до плакованої міддю трубної решітки ГО



**Мікротвердість перехідної зони між плакованим шаром з міді і сталлюю поверхнею трубної решітки ГО**

Мікротвердість перехідної зони має бути не нижче, ніж у плакованого шару з міді.



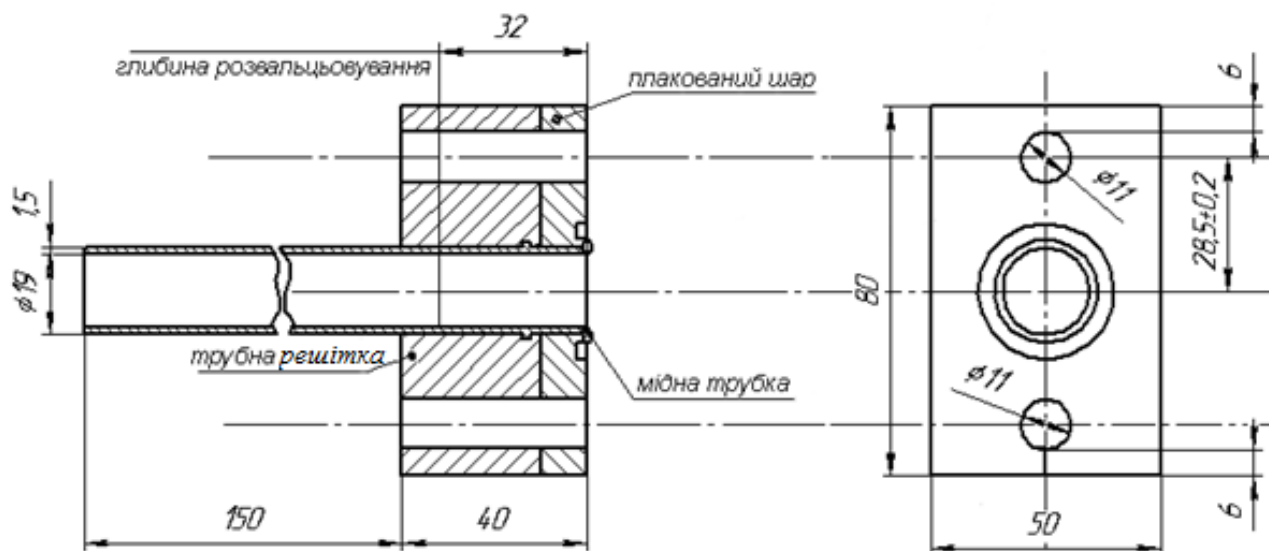
**Мікрофрактограма руйнування зразка по шару з міді на сталі 09Г2С після випробувань розтягом**



**Згин зразка через призму  $R=3\text{мм}$  на кут  $150^\circ$**

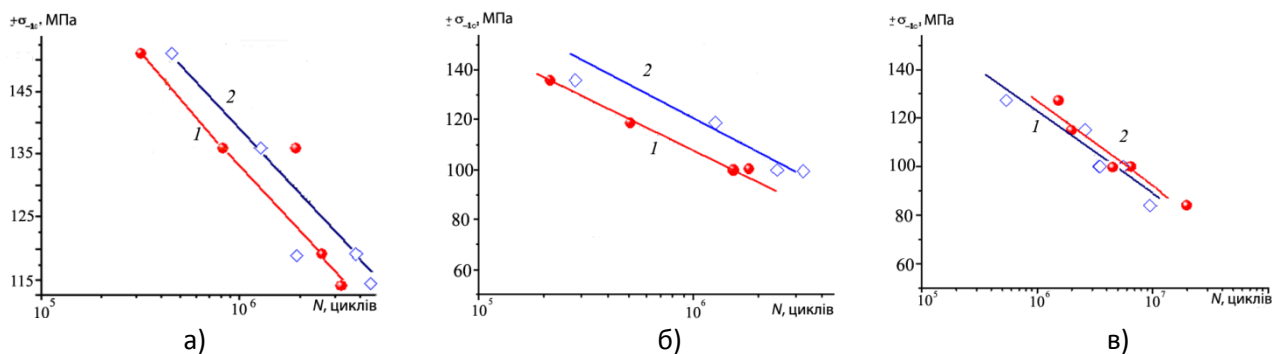
Розшарування плакованого шару з міді зі сталюю поверхнею трубної решітки ГО не припустимі.

Корозійно-втомні випробування зразків за умов жорсткого навантаження при консольному згині проводили на модернізованій установці, розробленій та виготовленій у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України.



### **Зварно-вальцьоване з'єднання трубної решітки ГО з плакованим шаром і теплопередавальною трубкою**

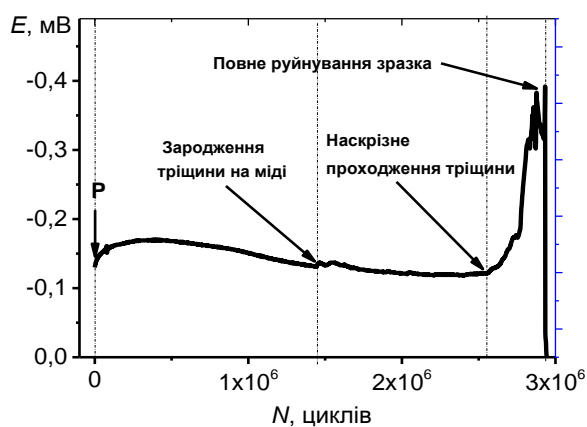
Досліджували вплив різних режимів розвальцьовування комбінованих з'єднань теплопередавальних трубок різного діаметру і товщини стінки з плакованою міддю трубною решіткою ГО на їх опірність корозійно-втомному руйнуванню: I група - трубка  $\varnothing 19 \times 1,5\text{мм}$ , розвальцьована на внутрішні діаметри 16,3 і 16,4мм, II група - трубка  $\varnothing 19 \times 1\text{мм}$ , розвальцьована на внутрішні діаметри  $\varnothing 17,3$  і 17,35мм, III група -  $\varnothing 16 \times 2\text{мм}$ , розвальцьована на внутрішні діаметри  $\varnothing 12,4$  і 12,45мм.



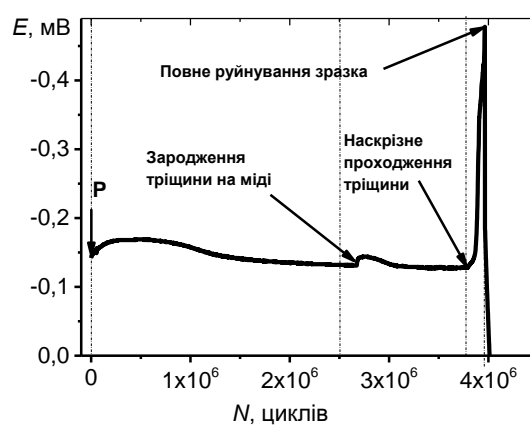
**Корозійна втома зварно-вальцьованого з'єднання: а – трубка  $\varnothing 19 \times 1,5$  мм (1 –  $d_{вн} = 16,30$  мм; 2 –  $d_{вн} = 16,40$  мм), б – трубка  $\varnothing 19 \times 1,0$  мм (1 –  $d_{вн} = 17,30$  мм; 2 –  $d_{вн} = 17,35$  мм), в – трубка  $\varnothing 16 \times 2,0$  мм (1 –  $d_{вн} = 12,40$  мм; 2 –  $d_{вн} = 12,45$  мм), (частота коливань зразків 50 Гц)**

Встановлено, що у визначеному діапазоні циклічних напружень збільшення ступеня розвальцювання трубок  $\varnothing 19 \times 1,5$  та  $\varnothing 19 \times 1$  мм позитивно (у  $\sim 1,5$  рази) впливає на підвищення опору корозійно-втомному руйнуванню комбінованих з'єднань з трубною решіткою. Для комбінованого з'єднання з мідною трубкою  $\varnothing 16 \times 2$  мм суттєвого впливу ступеня розвальцювання на корозійну тривкість не виявлено, хоча спостерігали незначне зниження циклічної довговічності зразків з більшим внутрішнім діаметром.

Після  $1,4 \times 10^6$  циклів випробувань зразків спостережено зсування потенціалу у від'ємніший бік внаслідок деформації поверхні, руйнування пасивних плівок та зародження тріщин. Тріщини розповсюджувалися до  $2,6 \times 10^6$  циклів випробувань, далі спостерігали стрімке зсування потенціалу у від'ємніший бік, що свідчить про наскрізну тріщину і розгерметизацію трубки.



а



б

**Характер зміни електродного потенціалу комбінованого зварно-вальцьованого з'єднання трубок  $\varnothing 19 \times 1,5$  мм із внутрішнім діаметром 16,3 мм (а) і 16,4 мм (б) під час корозійно-втомних випробувань**

Долом зразка, розвальцьованого до внутрішнього діаметра трубки 16,3 мм, тривав до  $2,9 \times 10^6$ , а до 16,4 мм –  $4 \times 10^6$  циклів випробувань. У зразка з



вищим ступенем розвальцювання трубки (16,4 мм) тривалість першої стадії до зародження тріщин була суттєво більша, а другої менша, ніж зразка з меншим ступенем розвальцювання теплообмінної трубки (Ø16,3мм). Це сприяє підвищенню довговічності комбінованих з'єднань у 1,5 рази. Результати цих досліджень ТОВ “Укрспецмаш” використав у виробництві ГО для ВП “Запорізька АЕС”.

### Найвагоміші публікації

#### Монографії:

1. Беліков С.Б., Нарівський О.Е., Хома М.С. Пітінгова корозія теплообмінників в оборотних водах та її прогнозування. Запоріжжя. 2019.-216с.
2. Нарівський О.Е., Хома М.С., Рацька Н.Б. Локальна корозія теплообмінного обладнання та її прогнозування і попередження. - Запоріжжя. 2024. - 218с.

#### Довідниковий посібник:

1. Олександров О.Г., Нарівський О.Е. Дугове зварювання металів. Довідник. - Д: Ліра. 2004 - 142с.

#### Статті:

1. Narivs'kyi O.E. Corrosion fracture of plate-like heat exchanger // Materials Science, 2005, 1 (41), p. 122-128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-005-0140-8>. Percentile 72.
2. Narivs'kyi O.E. Micromechanism of corrosion fracture of the plates of heat exchangers // Materials Science, 2007, 43(1), p. 124-132. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-007-0014-3>. Percentile 69.
3. Narivs'kyi O.E. The influence of heterogeneity steel AISI321 on its pitting resistance in chloride - containing media // Materials Science, 2007, 2 (43). pp. 256-264. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-007-0029-9>. Percentile 72.
4. Narivs'kyi O.E., Belikov S.B. Pitting resistance of 06KhN28MDT alloy in chloride - containing media // Materials Science, 2008, 44 (4), pp. 573-580. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-009-9107-5>. Percentile 66.
5. Narivs'kyi O. E. Corrosion Fracture of Platelike Heat Exchangers // Fiz.-Khim. Mekh. Mater., 2005, 41 (1), pp. 104-108. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-005-0140-8>.
6. Narivskiy A.E. Assessment of AISI321 steel resistance to local corrosion in chloride-containing media // Materials: corrosion, protection, 2008, 8, pp.1-7.
7. Беліков С.Б., Нарівський О.Е., Олександров О.Г. Технологія виробництва сепаратора для відокремлення рециркуляційного воденьвмісного газу від продуктів гідроочистки // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2009, №2, с.60-64.
8. Беліков С.Б., Нарівський О.Е. Стійкість сталі AISI 321 до міжкристалічної корозії залежно від її структури та механічних властивостей // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2010, №2, с.21-25.

9. Mishchenko V. G., Snizhnoi G. V., and Narivs'kyu O. Eh. Magnetometric Investigations of Corrosion Behaviour of AISI 304 Steel in Chloride-Containing Environment // *Metallofizika i noveishie technologii*, 2011, 33 (6), pp. 769-774. <https://mfint.imp.kiev.ua/ru/toc/v33/i06.html>. WOS:000296945600005.
10. Нарівський О.Е., Солідор Н.А. Корозійні процеси та швидкість підростання пітінгів на сталях AISI304 і 08X18H10T в модельних оборотних водах // *Вісник Приазовського державного технічного університету, серія технічні науки*, 2011, 23 (2), с.87-97.
11. Нарівський О.Е., Беліков С.Б. Стійкість сталей AISI321 та 12X18H10T до міжкристалічної корозії залежно від їх хімічного складу // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 2012, №2, с.20-24.
12. Нарівський О.Е. Закономірності та механізми корозійного розчинення сталі AISI321 у модельних оборотних водах // *Вісник Східно-Українського національного університету ім. Володимира Даля*, 2013, 202 (3), с.97-108.
13. Нарівський О.Е. Закономірності та механізми корозійного розчинення сталі AISI321 у слабокислому хлоридовмісному розчині // *Вісник Приазовського державного технічного університету, серія технічні науки*, 2013, вип 26, с. 97-108.
14. Narivsky A.E., Yar-Mukhamedova G.Sh. Influence of chemical composition and structural components of alloy 06KhN28MDT on its corrosion losses in neutral chloride-containing solutions // *Kompleksnoe ispolzovanie Miniralnogo Syra*, 2013, 286(1), pp.82-98.
15. Narivsky A.E., Yar-Mukhamedova G.Sh. Patterns and mechanisms of corrosion dissolution of Cr, Ni and Fe from the alloy 06KhN28MDT in chloride-containing solution // *Kompleksnoe ispolzovanie Miniralnogo Syra*, 2013, 286 (3), p.60-69.
16. Нарівський О.Е. Вплив хімічного складу та структурної гетерогенності на корозійні втрати Cr, Ni та Fe зі сплаву 06ХН28МДТ у модельній оборотній воді // *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник Луцького технічного університету*, 2013, 41, с.177-183.
17. Нарівський О.Е., Беліков С.Б. Закономірності та механізми корозійного розчинення сталі AISI304 під осадом у модельних оборотних водах // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 2013, №1, с.27-31.
18. Нарівський О.Е. Вплив хімічних елементів та структурної гетерогенності сталі AISI321 на корозійне розчинення Cr, Ni та Fe у хлоридовмісних розчинах // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 2014, 24(2), с.164-172.
19. Narivsky A.E., Yar-Mukhamedova G.Sh. Pitting resistance of AISI321 steel in low-mineralised chloride-containing media depending on the ferrite phase content // *Kompleksnoe ispolzovanie Miniralnogo Syra*, 2014, 288 (1), pp.58-67.

20. Нарівський О.Е. Корозійна поведінка сплаву 06ХН28МДТ у модельній оборотній воді під осадом // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України, 2014, 24(1), с.162-171.
21. Нарівський О.Е. Вплив легувальних елементів і структури сталі AISI321 на особливості селективного розчинення металів у пітінгах на її поверхні // Нові матеріали і технології в машинобудуванні, 2015, №2, с.17-22.
22. Narivsky A.E., Yar-Mukhamedova G.Sh. Influence of alloying elements and structural heterogeneity of AISI321 steel on the selective dissolution of metals from pittings // Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University. Physical Series, 2016, 56(1), pp.86-97.
23. Нарівський О.Е., Беліков С.Б., Маркова Н.В. Характерні особливості селективного розчинення сплаву 06ХН28МДТ в високоокиснювальному розчині нітратної кислоти // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України, 2016, 26 (6), с.233-240.
24. Narivskiy A., Yar-Mukhamedova G., Temirgalyeva E., Yar-Mukhamedov Y. Corrosion loss of alloy 06KhN28MDT in chloride containing commercial waters // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2016, 1, pp.63-70.
25. Нарівський О.Е. Особливості селективного розчинення металів у метастабільних і стабільних пітінгах сплаву 06ХН28МДТ в модельних оборотних водах // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2017, 2, с.46-53.
26. Нарівський О.Е., Маркова Н.В. Вплив характерних особливостей селективного розчинення сплаву 06ХН28МДТ на його тривкість до МКК у високоокиснювальному середовищі // Наукові нотатки. Луцький національний університет, 2017, 57, с.144-151.
27. Narivskiy A., Atchibaev R., Muradov A., Mukashev K., Yar-Muchamedov Y. Investigation of electrochemical properties in chloride-containing commercial waters // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2018, 18 (6.1), pp. 267-274. DOI: 10.5593/sgem2018/6.1/S24.036.
28. Korniienko O.V., Subbotin S.O., Narivskiy O.E. Neural network modeling of critical temperatures for steel pitting // Technical facilities of information registration and processing, 2019, 21 (1), pp. 57-67. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2019.1.1.179699>.
29. Нарівський О.Е., Беліков С.Б., Яр-Мухамедова Г.Ш. Механізми корозійного руйнування в пітінгах сплаву 06ХН28МДТ у модельних оборотних водах // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2019, №1, с.53-60. DOI: 10.15588/1607-6885-2018-1-8
30. Narivskiy A.E., Subbotin S.A., Belikov S.B., Yar-Mukhamedova G.Sh., Atchibaev R.A. Pitting resistance of AISI321 steel in chloride-containing media depending on its chemical composition and structural heterogeneity // Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University, 2019, 131, pp.240-250.
31. Narivskiy O.E., Subbotin S.O. Belikov S.B., Yar-Mukhamedova G. Sh. Influence of circulation water's parameters, chemical composition and

- structural heterogeneity of AISI304 steel on its pitting resistance // *Kompleksnoe ispolzovanie Miniralnogo Syra*, 2019, 309(2), pp.24-33. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.13>. WOS: 000613024200004.
32. Нарівський О.Е., Беліков С.Б. Вплив хімічного складу і структурної гетерогенності сплаву 06ХН28МДТ на його механізми пітингування в оборотних водах // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 2019, N2, с.6-13. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2019-2-1>
33. Narivskiy O.E., Belikov S.B., Subbotin S.A., Pulina T.V. Influence of Chloride-Containing Media on the Pitting Resistance of AISI321 Steel // *Materials Science*, 2021, 57(2), pp. 291-297. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00544-z>. Percentile 58. WOS:000741934400006.
34. Khoma M.S., Narivskyy O.E., Vinar V.A., Ratska N. B., Mardorevych R.C., Korniy S.A., Vasyliv Ch.B., Chuchman M.R. Development of new constructive elements of gas coolers in atomic and thermal power plants with improved corrosion-mechanic resistance // *Science and Innovation*, 2021, 17(6), pp.50-60. <https://doi.org/10.15407/scine17.06.050>. WOS:000736976100005.
35. Leoshchenko S.D., Subbotin S.A., Narivskyy O.E. Implementation of the indicator system in modeling of complex technical systems // *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2021, №1, pp. 117-126. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-12>.
36. Narivskiy O.E., Subbotin S.A., Pulina T.V. and Khoma M.S. Assessment and Prediction of the Pitting Resistance of Plate-Like Heat Exchangers Made of AISI304 Steel and Operating in Circulating Waters // *Materials Science*, 2022, 58, pp. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00628-4>. Percentile 58.
37. Narivskiy O., Atchibayev R., Kemelzhanova A., Yar-Mukhamedova G., Snizhnoi G., Subbotin S., Beisebayeva A. Mathematical Modeling of the Corrosion Behavior of Austenitic Steels in Chloride-Containing Media During the Operation of Plate-Like Heat Exchangers // *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 2022, 24(4), pp. 295-302. DOI: <https://doi.org/10.18321/ectj1473>
38. Narivskiy O.E., Subbotin S.O., Pulina T.V., Leoshchenko S.O., Khoma M.S., Ratska N.B. Modeling of pitting of heat exchangers made of 18/10 type steel in circulating waters // *Materials Science*, 2023, 58(5), pp.1-7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-023-00725-y>. Percentile 22.
39. Narivskiy O.E., Subbotin S.O., Pulina T.V. Corrosion behavior of austenitic steels in chloride-containing media during the operation of plate-like heat exchangers // *Physical Sciences And Technology*, 2023, 10 (3-4), pp. 48-56. DOI: <https://doi.org/10.26577/phst.2023.v10.i2.06>
40. Нарівський О.Е., Сніжної Г.В., Пуліна Т.В., Сніжної В.Л., Солідор Н.А. Вплив питомої магнетної сприйнятливості сталей AISI 304 і 08X18H10 на

їх граничні потенціали в хлоридовмісних середовищах // Фізико-хімічна механіка матеріалів, 2023, 6, с. 22-31.

**Наукові конференції на які представив доповіді доктор технічних наук  
Нарівський Олексій Едуардович**

1. VIII-XVI Міжнародна наукова конференція - виставка "Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів", "Корозія 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, 2022". Львів, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, 2022 р.
2. II Міжнародна науково-методична конференція «Сучасні проблеми зварювання та споріднених технологій, удосконалення підготовки кадрів». Маріуполь, 11-14 вересня 2006р.
3. III Міжнародна наукова конференція "Електрохімічний захист і корозійний контроль". Сєверодонецьк. 2007р.
4. VIII Міжнародний науково-технічний конгрес "ОТТОМ8" термістів та металознавців "Обладнання та технології термічної обробки металів і сплавів". Харків, 28 травня - 1 червня 2007р.
5. IX Міжнародний науково-технічний конгрес "ОТТОМ9" термістів та металознавців "Обладнання та технології термічної обробки металів і сплавів". Харків, 21-25 квітня 2008р.
6. XII Міжнародна промислова конференція «Ефективність реалізації наукового, ресурсного та промислового потенціалу в сучасних умовах». м. Плав'я, 10-14 лютого 2011р.
7. Scientific seminar "Regulatory and technical basis for operation, maintenance and repair of oil refining equipment. Problems of reliable operation of plate-like heat exchangers in oil refining". STC at the Council of Chief Engineers. Moscow, 14-17 February, 2011.
8. V Міжнародна науково-практична конференція "Теоретичні та експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування". Луцьк (НП "Шацькі озера"), червень 2011 року.
9. XIII Міжнародна промислова конференція «Ефективність реалізації наукового, ресурсного та промислового потенціалу в сучасних умовах». м. Плав'я, 13-17 лютого 2012р.
10. Scientific seminar "Materials and technologies for various types of coatings at oil refineries and petrochemical enterprises. Justification of materials selection, quality assurance of works performed". STC at the Council of Chief Engineers. Moscow, 14-17 February, 2012.
11. Міжнародна науково-практична конференція "Інноваційні матеріали та зміцнювальні технології". Маріуполь, 2012г.
12. Міжнародна промислова конференція "Матеріали, методи, технології". м. Плав'я, 18-22 лютого, 2013р.
13. I Міжнародна конференція виставка "Підвищення надійності та довговічності обладнання нафтогазової та хімічної промисловості". Бердянськ, 3-6 вересня 2013 р.



14. XI Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків. Львів, 2013р.
15. VI Міжнародна науково-практична конференція “Теоретичні та експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування”. Луцьк (НП “Шацькі озера”), червень 2013 року.
16. International Multidisciplinary Scientific Geo Conference: SGEM; Sofia, 2016, 2017, 2018.
17. Науково-практична конференція “Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво”, Суми, з 17 по 20 травня 2016р.
18. IV Міжнародна науково-практична конференція “Титан 2016”: виробництво та використання в авіабудуванні, Запоріжжя, 2016 р.
19. International Scientific Conference "Modern Problems of Condensed matter Physics, Nanotechnologies and Nanomaterials", Almaty, Kazakhstan, 10-12 October 2016.
20. SHS Web of Conferences 107,06002 (2021) M3E 2221 DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202110706002>.
21. XV Міжнародна науково-технічна конференція «Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів», м. Запоріжжя, листопад 2022р.
22. IV International Scientific and Practical Conference, Tallin, Estonia, 20-21 April 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7863283>.
23. International Young Scientists Conference MSSE 2023, Lviv, Ukraine, 26-29 September 2023.
24. V Міжнародна конференція «Перспективи впровадження інновацій в атомну енергетику», Київ, 28-29 вересня 2023р.
25. Conference: Materials Science and Surface Engineering, Year 2023, p. 163. DOI: 10.15407/msse2023.163