

УДК 620.034.15

В. Гладьо, канд. техн. наук; А. Собчак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ПОШКОДЖУВАНІСТЬ СТРУКТУРИ СТАЛІ КОЛЕКТОРА ПАРОПЕРЕГРІВАЧА ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ

**Резюме.** Показано, що довготривала експлуатація колекторів пароперегрівачів в умовах високих температур і тиску викликає структурно-фазові зміни в сталі 12Х1МФ. Відбувається деградація матеріалу колектора: розпадаються перлітні колонії, сфероїдизуються карбіди, збільшується кількість карбідів на границях зерен. Встановлено локалізацію зародження та поширення експлуатаційних тріщин у матеріалі колектора пароперегрівача. Тріщини внаслідок корозії матеріалу під навантаженням поширюються з внутрішнього боку колектора вздовж границь зерен, ослаблених порами та виділеннями карбідів.

**Ключові слова:** колектор пароперегрівача, мікроструктура, пошкоджуваність, корозія під навантаженням.

V. Hlado, A. Sobchak

## EXPLOITATION DAMAGE STRUCTURE OF STEEL OF THE COLLECTOR OF SUPERHEATER

**The summary.** It has been shown that after long-term exploitation of collectors of superheaters in the conditions of high temperatures and pressure causes structurally phase changes in steel of 12Kh1MF. Take place degradation of material of collector: disintegrate perlitni colonies, sferoidizuyut'sya carbides, carbides spheroidizing, the amount of carbides is increased on grains boundaries. Localization of origin and distribution of operating cracks is set in material of collector of superheater. Cracks, as a result of corrosion of on-loading material, develop along boundaries of grains, abatement pores and inclusions of carbides.

**Key words:** collector of superheater, microstructure, damage, corrosion of on-loading material.

**Постановка проблеми.** Колектори пароперегрівачів є важливими елементами конструкцій теплових електричних станцій (ТЕС), раптове руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків. Тому контролювання деградації матеріалу колекторів і своєчасне виявлення пошкоджень є важливою проблемою безпечної експлуатації ТЕС. Вибір матеріалу колекторів пароперегрівачів здійснюють залежно від величини і характеру навантажень та інших спеціальних вимог, залежно від умов експлуатації. В робочому стані в колекторах підтримується тиск водяної пари 14 МПа при температурі 500 °С, що вимагає використання сталей з високою межею міцності й теплостійкості. Під впливом значного тиску і підвищених температур упродовж тривалого терміну експлуатації значно змінюється мікроструктура, властивості сталі та накопичується пошкоджуваність, яка може ініціювати руйнування колекторів пароперегрівачів [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На деградацію та руйнування матеріалу в процесі експлуатації колекторів пароперегрівачів ТЕС впливає значна кількість чинників. Основні з них: довготривале перегрівання, корозія в експлуатаційний період та в період кислотного очищення, киснева корозія, корозія в точці роси під час перерви у роботі, утворення відкладень – накипу з води та пари, пошкоджуваність під впливом водню, корозійно-втомне руйнування, корозійне розтріскування під напруженням, ерозія, кавітація, вплив дефектів виготовлення та дефектів зварних швів, початкова якість матеріалу та ін. [2].

Руйнування конструкційних сталей в умовах сумісної дії механічних навантажень, температури та агресивного середовища визначається сукупністю фізико-механічних та фізико-хімічних процесів, природа яких залежить від матеріалу та характеру прикладеного навантаження і типу середовища [3]. Пошкоджуваність конструкційних елементів теплоенергетичного устаткування починається на перших етапах експлуатації та пов'язана зі змінами структури і фазового складу теплостійких сталей [1, 4]. Під час експлуатації теплостійких сталей відбуваються такі основні процеси: міграція меж та ріст зерен; перерозподіл дислокацій і утворення нових субзерен; дифузійний перерозподіл легувальних елементів; знеуглецювання приповерхневих шарів; зародження та ріст пор [1-6].

**Мета роботи.** Оскільки при експлуатації колекторів пароперегрівачів відбуваються значні мікроструктурні зміни, які істотно впливають на надійність роботи теплоенергетичного устаткування, важливо дослідити ступінь накопичення мікропошкоджень у матеріалі колекторів пароперегрівачів для встановлення терміну їх безаварійної експлуатації.

**Матеріали та методика досліджень.** Досліджували зразки сталі 12Х1МФ, вирізані з ділянок приєднання патрубків до колектора пароперегрівача. Сталь колектора експлуатувалася за температури 500 °С, тиску 14 МПа протягом 200 000 годин. На рисунку 1а зображено вигляд із внутрішнього боку частини колектора з отворами для приєднання патрубків та утвореними корозійними тріщинами між отворами.

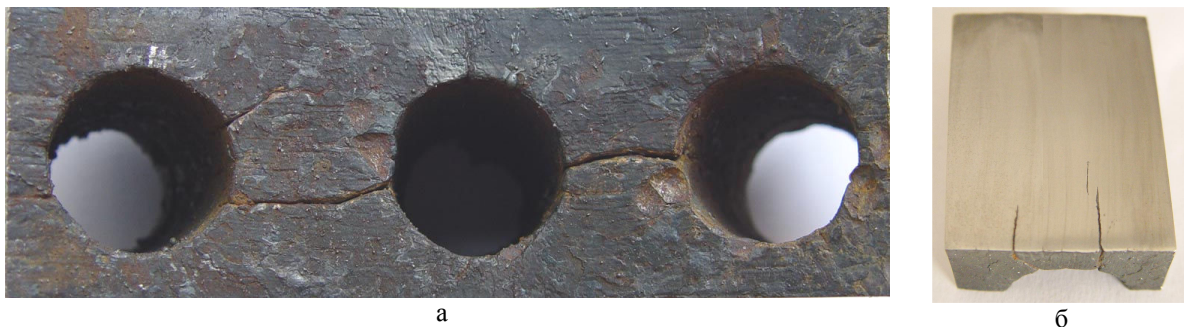


Рисунок 1 – Досліджувані зразки: а – частина колектора зі сталі 12Х1МФ з отворами для приєднання патрубків; б – шліф для мікроструктурних досліджень

Дослідження мікроструктури сталі виконували на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И. Металографічне травлення шліфів після шліфування і полірування (рис. 1б) виконували 5% розчином нітратної кислоти в етиловому спирті. Також за допомогою приставки енергодисперсійного мікроаналізу “ЕДАР”, скануючого електронного мікроскопа, досліджували розподіл хімічних елементів. Аналіз хімічного складу виконували за допомогою спеціалізованої програми Magallanes.

**Результати дослідження.** Мікроструктурні дослідження сталі 12Х1МФ засобами електронної растрової мікроскопії виявили розпад перлітної структури матеріалу, укрупнення та сфероїдизацію карбідів і виділення їх на границях феритних зерен (рис. 2 а, в).

У приповерхневих шарах колектора пароперегрівача внаслідок термомеханічних напружень активуються дифузійні процеси і на внутрішній поверхні відбувається знеуглецювання сталі. Внаслідок знеуглецювання приповерхневих шарів концентрація вуглецю стає менша, ніж в об'ємі металу, що відіграє роль рушійної сили

зневуглецювання [7]. При цьому утворюється водень, який дифундує в об'єм металу і викликає міжзеренне руйнування [8]. Одночасно відбувається розпад перліту, як механічної суміші двох фаз: фериту і цементиту, оскільки на основі цементиту  $Fe_3C$  початкового перліту утворюються складнолеговані карбіди типу  $Fe_x(C, Cr, Mo, V)_y$  [9]. Локальний мікроаналіз хімічного складу виділень виявив підвищення вмісту Mo і Cr (рис.2 б, г).

Розпад перлітної структури, укрупнення карбідів та виділення їх по границях зерен є факторами нестабільності структури сталі 12Х1МФ. Включення карбідів по границях зерен полегшують утворення мікропор та сприяють міжзеренному руйнуванню сталі.

На шліфі (рис. 1б) виявлено значну кількість корозійних тріщин (рис. 3), які поширюються з внутрішнього боку колектора пароперегрівача.

У процесі експлуатації на теплообмінних поверхнях колектора утворюються відкладення, в основному оксидів заліза, переважно – магнетиту  $Fe_3O_4$ . Стабільність цього шару досягається підтриманням відповідного складу пари, рН і теплового режиму. Відхилення цих параметрів зумовлює локальні пошкодження пасивувального шару і спричиняє корозію стінки колектора [10]. У випадку локального зростання товщини шару оксидів вони можуть розшаровуватися, що зумовлює утворення ділянок застою робочого середовища, зміну величини рН у підшаровому просторі та викликати підшлямову, виразкову або пітингову корозію. Приклад утворення пітингової ямки та ріст корозійної тріщини з неї зображено на рис. 3а.

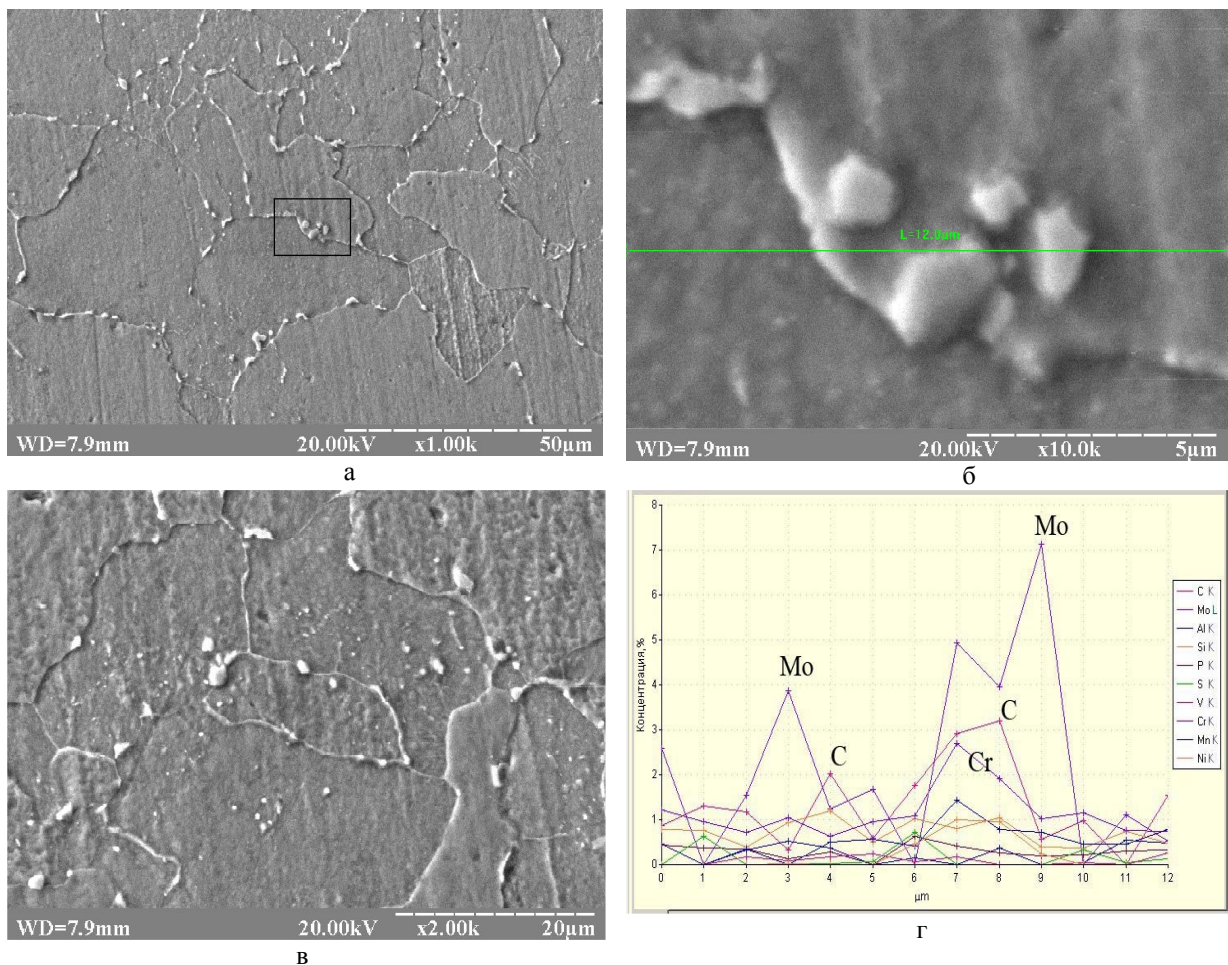


Рисунок 2 – Мікроструктура сталі 12Х1МФ: а, в – сфероїдизація та виділення карбідів по границях зерен; б – ділянка границі зерен (збільшена центральна частина рисунка а); г – розподіл хімічних елементів з кроком 1 кмк уздовж лінії з рисунка б

Початкова стадія процесу руйнування спричинена існуванням на поверхні металу певної неоднорідності чи включень, що викликає утворення локальних корозійно активних ділянок. Вирішальна роль на початковому етапі корозійного руйнування належить електрохімічним процесам, які активізуються механічними напруженнями [11]. В подальшому, від вже існуючих пітингів утворюються тріщиноподібні дефекти – фізично короткі тріщини, які збільшують концентрацію напружень і зміщують активну ділянку з поверхні металу до вершини тріщини, що викликає додатковий ефект локалізації корозійного руйнування металу (рис. 3а).

У вершині тріщини створюється квазістаціонарна анодна мікрозона, яка призводить до неперервного та дискретного просування вершини тріщини вглиб металу [12]. Утворюються також вторинні корозійні мікротріщини на границях зерен (рис. 3б), які викликають поглинання зерен тріщиною та збільшення її ширини (рис. 3 в, г). У результаті утворюються клиноподібні корозійні тріщини, повністю заповнені продуктами корозії.

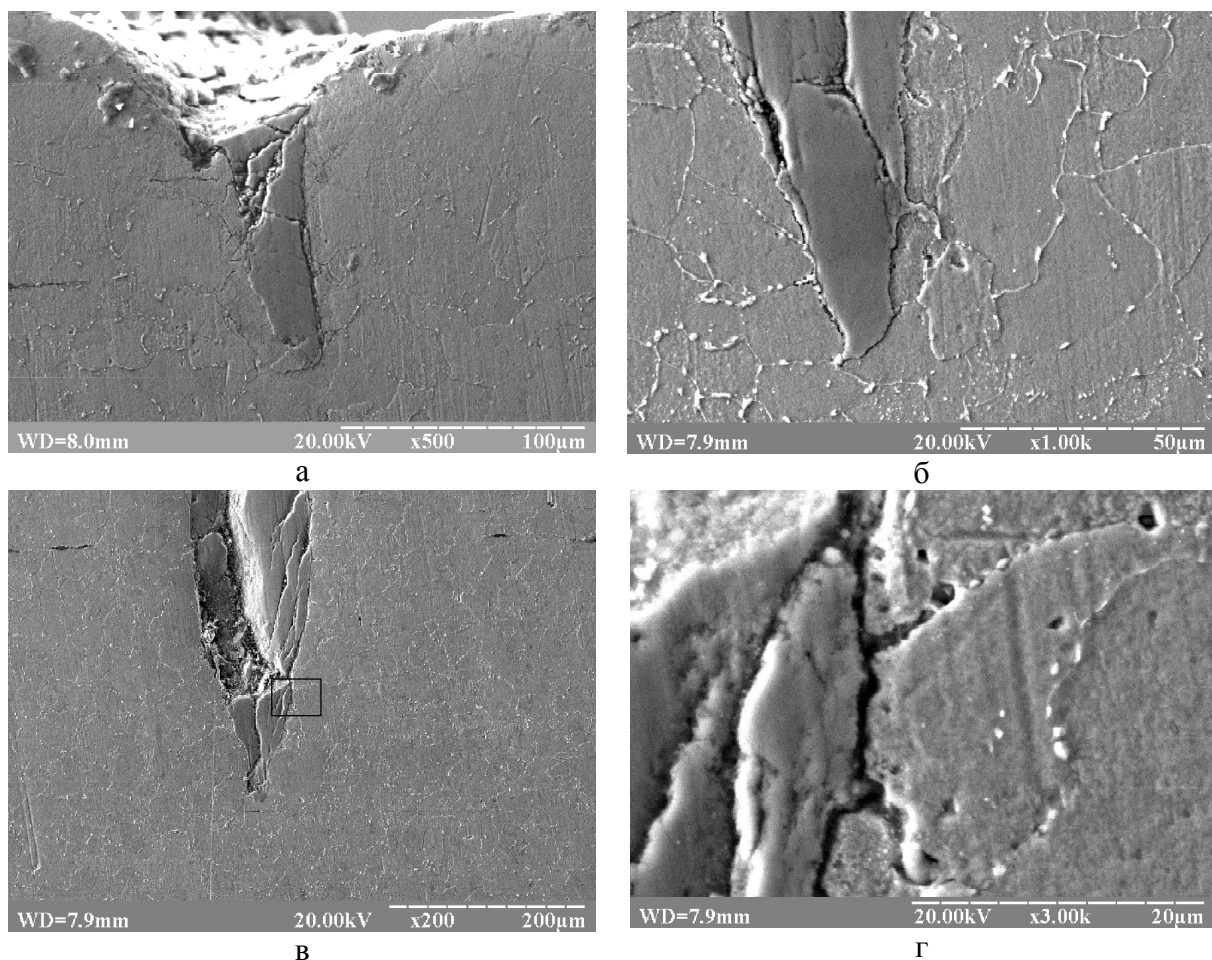


Рисунок 3 – Корозійні тріщини у сталі 12X1МФ: а – пітингова ямка і коротка тріщина з затупленою вершиною; б – клиноподібна тріщина з вторинними мікротріщинами по границях зерен; в – корозійна тріщина; г – поширення вторинних мікротріщин уздовж границь зерен за рахунок мікропор і виділень карбідів (збільшена центральна частина рисунка в)

Наводнювання металу на етапі роботи колектора під навантаженням відбувається за рахунок процесів дисоціації і хемосорбції газоподібного водню, що присутній у водяній парі; каталітичного розкладу пари на свіжоутвореній поверхні внаслідок її корозійної активності. Водень дифундує в зону найбільших напружень безпосередньо перед вершиною тріщини, де його концентрація значно перевищує середні значення [11]. При досягненні в зоні перед вершиною тріщини критичної

комбінації напруження і вмісту водню відбувається підростання тріщини. Інший процес, що викликає значні напруження на границях зерен, – молізація атомарного водню, внаслідок чого утворюється молекулярний водень і метан, які викликають високий тиск і забезпечують міжзеренний розвиток тріщин.

Знеуглецювання об'єму сталі, за умов високого тиску і температури, пояснюється різким ростом швидкості дифузії водню в підповерхневі шари металу [11]. Істотне погіршення характеристик міцності сталі 12Х1МФ пов'язане з її внутрішнім знеуглецюванням при інтенсивному необоротному водневому окрихчуванні і втраті міжкристалітної міцності за рахунок пороутворення і виділення на границях зерен карбідів.

**Висновки.** Встановлено, що довготривала експлуатація колекторів пароперегрівачів викликає структурно-фазові зміни в сталі 12Х1МФ: розпадаються перлітні колонії, сфероїдизуються карбіди, збільшується кількість карбідів й утворюються пори на границях зерен.

Тріщини внаслідок корозії матеріалу під навантаженням розвиваються із внутрішнього боку колектора вздовж границь зерен ослаблених порами та виділеннями карбідів. Істотно впливає на деградацію сталі 12Х1МФ її внутрішнє знеуглецювання при інтенсивному необоротному водневому окрихчуванні і втраті міжкристалітної міцності.

#### Література

1. Мелехов Р.К. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання / Мелехов Р.К., Похмурський В.І. – К.: Наук. думка, 2003. – 384 с.
2. Порт Р.Д. Практическое руководство компании НАЛКО по анализу причин повреждения котлов / Р.Д. Порт, Х.М. Херроу – McGraw-Hill, Inc. 1991. – 278 с.
3. Дмитрах І.М. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / Дмитрах І.М., Панасюк В.В. – Львів: Вид. ФМІ НАН України, 1999. – 341 с.
4. Березина Т.Г. Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок / Березина Т.Г., Бугай Н.В., Трунин И.И. – К.: Техніка, 1991. – 118 с.
5. Оцінка структурної деградації та пошкодження сталі паропроводів після тривалої термомеханічної дії / [О.В. Вольдемаров, В. Шиячки-Жеравчич, І. Дзіоба та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1997. – 33, № 2. – С. 107 – 111.
6. Никифорчин Г.М. Аномальний прояв високотемпературної деградації металу шва зварного з'єднання оцценолегованої сталі / Никифорчин Г.М., Студент О.З., Марков А.Д. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2007. – 43, № 1. – С. 73 – 79.
7. Фромм Е. Газы и углерод в металлах / Фромм Е., Гебхардт Е. – М.: Металлургия, 1980. – 712 с.
8. Кужидловський К.Я. Воднева деградація сталей та методи оцінювання довговічності конструкцій / Кужидловський К.Я., Никифорчин Г.М. // Українське товариство з механіки руйнування матеріалів (2003 – 2007). – Львів: Сполом, 2008. – С. 522 – 533.
9. Структурна мікропошкоджуваність сталей парогонів ТЕС / [Осташ О.П., Кондир А.І., Вольдемаров О.В. та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – 45, № 3. – С. 13 – 22.
10. Маргулова Т.Х. Водные режимы тепловых и атомных электростанций / Маргулова Т.Х., Мартынова О.Н. – М.: Высшая школа, 1981. – 320 с.
11. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник [за заг. ред. В.В. Панасюка]. – Том 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / І.М. Дмитрах, А.Б. Вайнман, М.Г. Стащук, Л. Тот [за ред. І.М. Дмитраха]. – Київ: ВД "Академперіодика", 2005. – 378 с.
12. Петров Л.Н. Коррозия под напряжением / Петров Л.Н. – К.: Вища шк., 1986. – 142 с.

Одержано 29.12.2009 р.