

УДК 539.3

О. Ясній

Канд. техн. наук

А. Собчак

Аспірант

В. Ясній

Студент-магістр

Н. Луцик

Студентка-магістр

Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль

ПОШКОДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ДІЛЯНКИ КОЛЕКТОРА ПАРОПЕРЕГРІВНИКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Досліджено множинне розтріскування тривало експлуатованого колектора пароперегрівника котла типу ТП-100, виготовленого зі сталі 12Х1МФ. На початковому етапі тріщини зароджуються на внутрішній поверхні перфорованої ділянки колектора пароперегрівача внаслідок термовтоми, спричиненої зміною температури при пусках-зупинках, а також коливаннями температури впродовж експлуатації в режимі регульованої потужності. Побудовано гістограми і функції розподілу довжин тріщин і кутів їх нахилу до осі отвору кріплення патрубків. Довжина більшості тріщин не перевищує 2 мм. Виявлено значне локалізоване пошкодження колектора у вигляді частково кругової тріщини довжиною 149 мм на внутрішній поверхні і найбільшою глибиною 37,8 мм, площа якої перетинає всі отвори кріплення патрубків.

множинне розтріскування, колектор пароперегрівника, сталь 12Х1МФ

Стохастична природа накопичення розпушених пошкоджень в умовах втоми, термовтоми, корозійного розтріскування, в т.ч. у водневмісних середовищах, визначає необхідність впровадження індивідуального моніторингу стану конструкції в експлуатаційних умовах. До таких конструкцій відносять трубопроводи, елементи атомних електростанцій, ролики машин безперервного лиття заготовок і т.д. Множинне розтріскування є характерним для елементів обладнання атомних електростанцій і спричиняється, як правило, термовтомним навантаженням [1]. Досліджено, що сітка тріщин виникає на поверхні внаслідок незначних флуктуацій температури і не поширюється глибоко у конструкційний елемент. Зокрема, для елементів водяних реакторів під тиском тріщини зупиняють свій ріст на глибині менше 2 мм. Подібну сітку неглибоких тріщин спостерігали на внутрішній поверхні труби системи охолодження реактора [2,3], а також у лабора-

торних випробуваннях зразків термовтомою [4]. Було висунуто гіпотезу, що сітка тріщин з'являється в умовах двовісного напруженого стану, коли коефіцієнт інтенсивності напружень зменшується в напрямку глибини [4]. Тому важливо знати, як зароджуються множинні тріщини і як вони розвиваються.

Множинне розтріскування актуальне і для колекторів пароперегрівачів, які працюють за умов термомеханічного навантажування і до надійності яких ставляться підвищені вимоги. Впродовж експлуатації на колектор пароперегрівача типу ТП-100 теплової електростанції діють високі температури (540...550°C), внутрішній тиск (13,5...15,0 МПа) і корозійне середовище – перегріта пара. Планові і аварійні зупинки енергоблоків спричиняють циклічне температурно-механічне навантаження на корпус колектора. За час експлуатації корпус колектора кількість циклів навантаження (пуск – зупинка) складає 900...1300.

Окрім цього, контакт з продуктами горіння зовнішньої поверхні колектора і з перегрітою парою внутрішньої поверхні спричиняє водневе окрихчення металу колектора. Сукупність цих чинників призводить до деградації матеріалу колектора. При переході від внутрішніх ділянок до периферії по товщині стінки експлуатованого колектора пароперегрівача типу ТП-100 ударна в'язкість сталі 12Х1МФ при кімнатній температурі зменшується майже у 7 разів до 21,9...22,2 Дж/см², а механізм руйнування змінюється від в'язко-крихкого до квазісколу [5]. Мікротвердість зменшується зі збільшенням віддалі до поверхні отвору кріплення патрубків. Найбільша деградація властивостей (найменше значення параметра Вейбулла *m*) спостерігається на ділянці, близькій до зовнішньої поверхні колектора.

Тривала експлуатація колекторів пароперегрівачів в умовах високих температур і тиску викликає структурно-фазові зміни в сталі 12Х1МФ. Деградація матеріалу колектора супроводжується розпадом перлітних колоній, сфероїдизацією карбідів і збільшенням їх кількості на границях зерен [6]. Виявлено, що корозійне розтріскування матеріалу під навантаженням відбувається з внутрішньої поверхні колектора вздовж границь зерен, ослаблених порами та виділеннями карбідів.

Величина коливання температури і тиску в процесі роботи залежить від споживаної потужності. Експлуатація колекторів приводить до деградації властивостей матеріалу, його термічного і водневого розтріскування. Періодичні зупинки і вихід на робочий режим колектора призводять до руйнування захисної плівки у вершинах тріщин і пришвидшують водневе розтріскування колектора. Поверхнєве розтріскування – поширене явище для матеріалів, експлуатованих за умов циклічної зміни температур. Типовою є поява сітки мікротріщин, морфологія і параметри якої залежать від часу напрацювання [7].

Для опису морфології множинного розтріскування і підвищення достовірності оцінювання пошкоджуваних елементів конструкцій використовують імовірнісно-статистичні методи, які дозволяють визначити відносну частоту тріщин певного розміру і обґрунтувати початкові розміри сітки тріщин при оцінюванні залишкового ресурсу.

Постановка задачі. Стаття стосується дослідження пошкодження різних ділянок експлуатованого колектора пароперегрівача типу ТП-100 теплових електростанцій (ТЕС), визначенню статистичних параметрів множинного розтріскування і мікромеханізмів поширення тріщин.

Методика дослідження. Колектор виконано у вигляді труби із зовнішнім діаметром 325 мм і товщиною стінки 50 мм. В ньому розташовано три ряди отворів діаметром 22 мм по 27 шт. у кожному з осевим кроком 80 мм, до яких приєднуються патрубки, що забезпечують подачу води в колектор. Досліджували експлуатований колектор, після 178440 год. роботи. Переріз дослідженої перфорованої ділянки колектора перпендикулярно до його осі, а також розгортка внутрішньої поверхні представлені на рис.1. Віддалі між отворами на розгортці внутрішньої поверхні становить 55 мм, зовнішньої — 80 мм.

На рис. 2 зображено половину вирізаного фрагменту А (рис.1) деградованого колектора пароперегрівача.

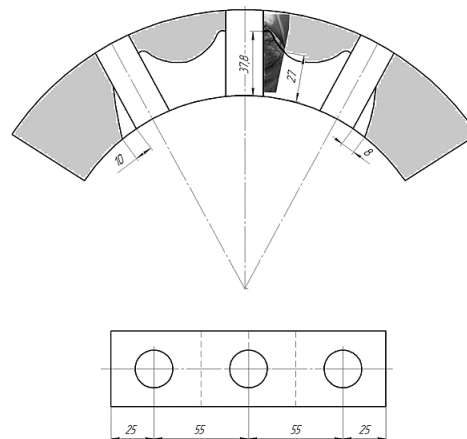


Рис. 1. Фрагмент перфорованої ділянки колектора (а), розгортка його внутрішньої поверхні та схема вирізання темплетів (б)

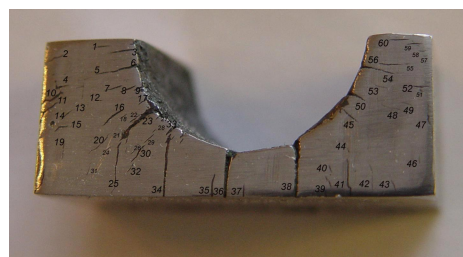


Рис. 2. Внутрішня поверхня перфорованої ділянки колектора пароперегрівача після 178400 год експлуатації

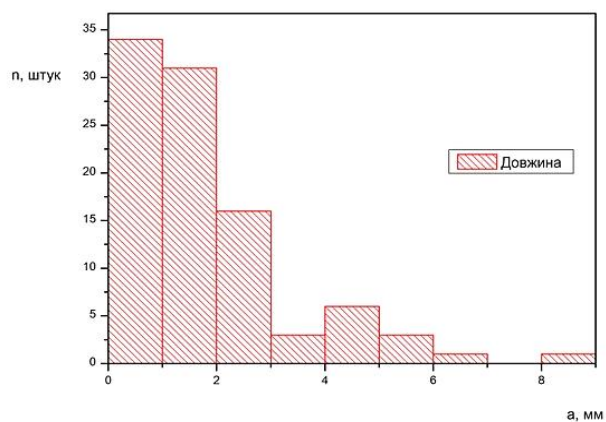


Рис. 3. Розподіл довжин тріщин на внутрішній поверхні перфорованого фрагменту експлуатованого колектора в околі отвору діаметром 22 мм (рис. 2 — зразок 1)

Переважає більшість тріщин росте з кромки отвору діаметром 22 мм у радіальному напрямку. Загальна кількість тріщин становила 95, на представленій половині фрагменту нараховується 60 тріщин.

На рис. 3 наведено гістограму розподілу довжин тріщин на внутрішній поверхні колектора в околі отвору діаметром 22 мм. Видно, що найбільше тріщин є довжиною 1,0...2,0 мм, найменше — 3,0...7,0 мм. Окремі локальні поверхневі тріщини порівняно невеликої довжини, розміщені на значній віддалі від отворів і спричинені спільною дією механічних напружень і середовища.

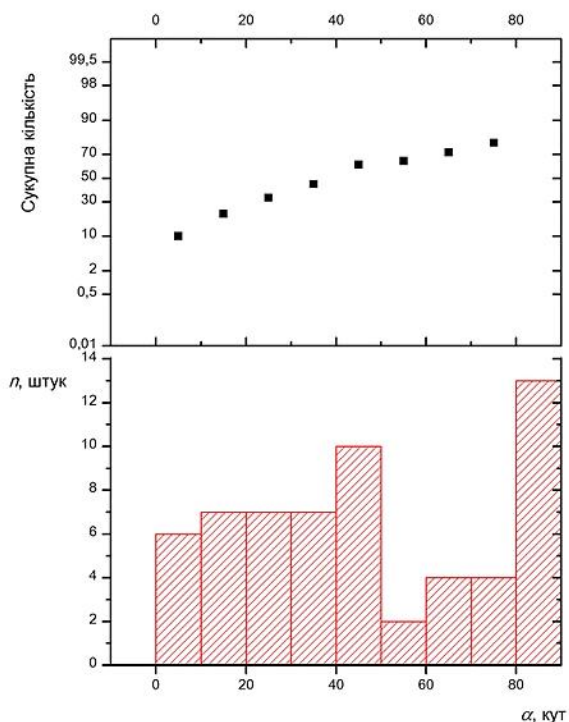


Рис. 4. Сукупна кількість (а) і гістограма розподілу кутів нахилу тріщин до осі отвору діаметром 22 мм (б)

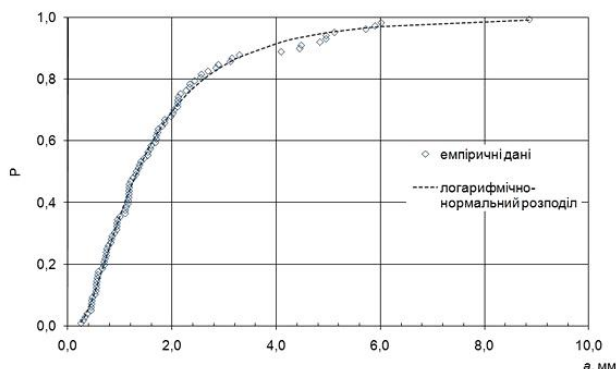


Рис. 5. Функція розподілу довжин тріщин на внутрішній поверхні експлуатованого колектора в околі отвору діаметром 22 мм

На рис. 4 зображено графік нормального розподілу і гістограму розподілу кутів нахилу тріщин до осі отвору діаметром 22 мм. Найбільше тріщин є з куту нахилу $40 - 50^\circ$ та $80 - 90^\circ$, а найменше – з куту нахилу $30 - 40^\circ$. Кількість тріщин у різних діапазонах кутів нахилу до осі отвору 22 мм у межах $0 - 40^\circ$ приблизно однакова (6 – 7 у кожному інтервалі).

Побудовано функцію розподілу довжин тріщин a на внутрішній поверхні колектора в околі отвору (рис. 5), відповідно у припущенні розподілу Вейбула. Встановлено, що в середньому тріщини досягають значення 1,5 мм.

Параметри логарифмічно-нормального розподілу та результати статистичної перевірки гіпотези за критерієм Андерсона-Дарлінга наведено у табл. 1. Встановлено, що

функція розподілу задовольняє критерій Андерсона-Дарлінга.

На рис. 6. показана поверхня найдовшої тріщини в перемичці між отворами діаметром 20 мм. Беручи до уваги форму фронту кінцевої тріщини, а також зображення деградованої поверхні (див. рис.2) можна стверджувати, що ця тріщина зародилася, як кутова на кромці отвору з внутрішньої поверхні.

На основі проведеного аналізу пошкодження побудовано фронт частково кругової тріщини у фрагменті перфорованої ділянки колектора (див. рис.1). Довжина тріщини на розгортці внутрішньої поверхні колектора дорівнює 149 мм. Найбільша глибина тріщини 37,8 мм досягається на поверхні центрального отвору діаметром 22 мм.

Таким чином, на основі проведених досліджень, а також аналізу літературних і експлуатаційних даних можна стверджувати, що на початковому етапі тріщини зароджуються на внутрішній поверхні перфорованої ділянки колектора пароперегрівача внаслідок термовтоми, спричиненої зміною температури при пусках-зупинках, а також коливаннями температури упродовж експлуатації в режимі регульованої потужності. Тріщини зароджуються з кромки отворів діаметром 22 мм і поширюються вглиб стінки колектора і в радіальному до даних отворів напрямку. Довжина відносної більшості тріщин не перевищує 2 мм (див. рис. 3), що співпадає з результатами інших дослідників [1 – 4] і підтверджує головну роль термовтоми у їх зародженні і поширенні. Гальмування

Таблиця 1

Параметри розподілу та результати статистичної перевірки гіпотези

X_0	m	s	$X_{\text{сг}}$	$Y_{\text{сг}}$	AD	CV
0,037	1,295	0,815	0,218	0,015	0,201	0,754



Рис. 6. Поверхня експлуатаційної тріщини №36 (рис. 2) в перемичці між отворами діаметром 20 мм

більшості тріщин спричинене спадними залежностями коефіцієнтів інтенсивності напружень при термомеханічному навантаженні. На певному етапі відбувається домінування поширення декількох тріщин (тріщини №34, 36, 38) у круговому напрямі (див. рис. 1) і вглиб по товщині стінки колектора, яке спричинене концентрацією механічних напружень від внутрішнього тиску. На поверхні отвору діаметром 22 мм добре простежується гілкування тріщини, яке характерне для її поширення в умовах корозійного чи водневого розтріскування [8].

Висновки. Досліджено параметри розпушеного (множинного) і локалізованого експлуатаційного розтріскування перфорованої ділянки колектора пароперегрівача типу ТП-100. Побудовано функції розподілу довжин тріщини на внутрішній поверхні колектора в околі центрального отвору діаметром 22 мм.

На внутрішній поверхні експлуатованого колектора виявлено найбільше тріщин довжиною 1,0...2,0 мм, найменше — довжиною 5,0...7,0 мм. Основна кількість тріщин орієнтована в радіальному до осі отвору діаметром 22 мм напрямі. Виявлено значне локалізоване пошкодження колектора у вигляді частково кругової тріщини довжиною 149 мм на внутрішній поверхні і найбільшою глибиною 37,8 мм, площа якої перетинає всі отвори кріплення патрубків.

На початковому етапі експлуатації тріщини зароджуються на внутрішній поверхні перфорованої ділянки колектора пароперегрівача внаслідок термовтоми, спричиненої зміною температури при пусках-зупинках, а також коливаннями температури впродовж експлуатації в режимі регульованої потужності. Подальший ріст тріщини спричинений корозійним розтріскуванням під напруженням у перегрітій парі.

Література

1. Taheri T. Some advances on understanding of high cycle thermal fatigue crazing//ASME J. Press. Technol. – 2007 – No 6. – P.400–410.
2. Molinie E., Monteil N., Delatouche S., Roux S., Robert N., Pages C. Caracterisation des troncons RRA 900–

1300MWe deposes: synthese des enseignements acquis // Porc. Fontevraud 5. – 2002. – P. 883–895.

3. Stephan J-M, Curtit F, Vindeirinho C, Taheri S, Akamatsu M, Peniguel C. Evaluation of the risk of damage in mixing zones: EDF R&D programme / In Proceedings Fatigue. – 2002. – 1707 p.

4. Maillot V., Fissolo A., Degallaix G., Degallaix S. Thermal fatigue crack networks parameters and stability: an experimental study// Int. J. Solids Struct. – 2005. – No.2. – P.759–769.

5. Ясній О., Вухерер Т., Ясній В., Собчак А., Сорочак А. Оцінка експлуатаційної деградації матеріалу колектора пароперегрівача // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – № 1. – С. 7–15.

6. Гладько В., Собчак А. Пошкоджуваність структури сталі колектора пароперегрівача за експлуатаційних умов // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2010. – № 1. – С. 27 – 31.

7. Ясній П.В., Марущак П.О., Баран Д.Я., Шишкін В.В. Деградація поверхні ролика МБЛЗ під час експлуатації // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – № 3. – С. 10–16.

8. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н., Зима Ю.В., Вольдемаров А.В. Кинетика и механизмы роста коррозионно-усталостных трещин в сталях ферритно-перлитного класса // Физ.-хим. механика материалов. –1983. – №1. – С. 29–39.

Отримана 24.10.10

O. Yasniy, A. Sobchak, V. Yasniy, N. Lutsyk

Damage of internal surface of region of steam superheater collector under the exploitation

Ivan Pul'uj Ternopil National Technical University, Ternopil

The multiple cracking of prolongedly exploited steam superheater collector of boiler of TP-100 type made from steel 12Cr1MoV was studied. Initially, the cracks arise on the inner surface of the perforated regions of superheater collector due to the thermal fatigue caused by temperature changes at start-stops, and fluctuations of temperature during operation in the mode of regulated power. The histograms and cumulative distribution functions of crack length and the angles of their inclination to the axis of the hole were constructed. The length of most cracks is less than 2 mm.

Диффузія

12th European Mechanics of Materials Conference - ICMM2

31 August 2011 — 2 September 2011
Paris, France

Contact: Chairpersons:

Prof. Jacques BESSON

Centre des Matériaux Mines Paris, Paristech

CNRS UMR 7633

BP 87

F-91003 Evry Cedex, France

Tel: +33 1 60 76 30 37

Fax: +33 1 60 76 31 50

Email: jacques.besson@mines-paristech.fr