

П. Марущак

Доцент, докт. техн. наук

Г. Данилишин

Доцент, канд. техн. наук

І. Окіпний

Доцент, канд. техн. наук

А. Сорочак

Інженер

Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль

УДК 670.191.33

ФРАКТОДІАГНОСТИКА МНОЖИННИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРІЩИНОПОДІБНИХ ДЕФЕКТІВ

Досліджено механізми руйнування фрагменту пароперегрівача Буришинської ТЕС із сіткою експлуатаційних дефектів. За аналізом пароперегрівача виявлено механізми впливу та повзучості. Проведено фрактографічне дослідження зародження та поширення тріщин, виявлено основні експлуатаційні пошкоджувальні фактори. Експериментально досліджено фільтр газової суміші «Альфа-Газпромкомплект». Виконано комплекс фрактографічних досліджень технологічних дефектів, які зумовили його руйнування.

фрактодіагностика, руйнування, експлуатаційні та технологічні дефекти, структурна неоднорідність

Запобігання аварійним руйнуванням відповідальних елементів трубопровідних систем є одним з найважливіших завдань технічної діагностики [1]. Відома низка праць, присвячених проблемі технічного діагностування елементів трубопровідних систем під час виготовлення та протягом експлуатації [2]. За їх результатами можна зробити висновок, що найперспективнішим є поєднання дослідження структурних особливостей деградації та фрактографічного аналізу поверхонь руйнування матеріалу. Аналіз структури та поверхні руйнування дозволяє одержати надійну інформацію про механізми деградації, які спричинили пошкодження деталі [3]. Отже, фрактодіагностування, як системне встановлення зв'язку між механізмами руйнування та структурними параметрами матеріалу трубопровідних систем, є актуальною проблемою [4].

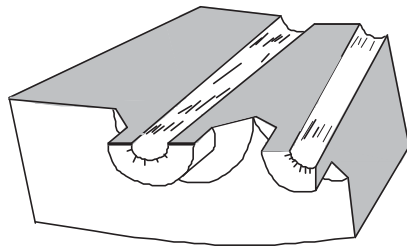
Фрактографічні дослідження ефективно доповнюють результати проектних розрахунків і дозволяють внести корективи у процес виготовлення деталі, або уточнити прогноз її граничного стану з урахуванням експлуатаційної деградації. Проте, механізми накопичення пошкод-

жень як правило визнаються не лише структурними особливостями але й умовами експлуатації. Це зумовлює необхідність поглибленого дослідження та узагальнення даних щодо деградації відповідальних конструктивних які працюють за умов циклічної зміни температур.

Метою цієї статті є дослідження впливу технологічних та експлуатаційних факторів на пошкодженість металу трубопровідних систем для розроблення підходів до аналізу причин структурної деградації.

Матеріал та методика досліджень. Досліджували тріщиноподібні дефекти, які виникли у матеріалі парогенератора Буришинської ТЕС зі сталі 12Х1МФ після експлуатаційного напруження протягом ~160 тис. год. Для дослідження властивостей матеріалу та аналізу наявних тріщин виконано порізку парогенератора у відповідності до відомої схеми [1] на окремі темплети для аналізу методом скануючої мікроскопії.

Ще одним об'єктом досліджень була чавунна заготовка фільтра сітчастого (ФСГ Ду50), який використовують для очищення природного газу (ГОСТ 5542) від механічних



а)



б)



в)

Рис. 1. Схема темплету (а) і типові види пошкоджень поверхні пароперегрівача: б – множинні дефекти (А); в – макротріщина (Б)

домішок (пилу, іржі, твердих частинок) і встановлюється у газорегулюючих пунктах, газорегуляторних пристроях та пунктах обліку витрат газу. Фільтри експлуатуються при робочому тиску 1,2 МПа і мають пропускну здатність 4000 м³/год. Номінальний діаметр фільтра 50 мм. Корпуси фільтрів ФСГ виготовляють методом лиття в пісчано-глинисту форму з чавуну марки ВЧ 450-10 згідно з ДСТУ 3925-99. Заготовка зруйнувалась на підприємстві «Альфа-Газпромкомплект» (Україна) під час механічної обробки. У цьому випадку аналізували технологічні причини, які зумовили руйнування.

Аналіз деградації матеріалу пароперегрівача. У відомих працях описано складний характер пошкодженості матеріалу за умов термоциклування та структурно-механічні відмінності фізичних моделей, які дозволяють описати закономірності зміни властивостей низки сталей за умов термомеханічного напруження [5]. Сукупний вплив механічного і термічного чинників пришвидшує дифузійні процеси, що інтенсифікує деградацію матеріалу [6].

Досліджували фрагменти пароперегрівача у найбільш типових точках деградації методом макро- та мікроаналізу, рис. 1. Виявлено, що на внутрішній поверхні отвору є численні поздовжні (гребінчасті) тріщини, які є однією з

ознак розвитку процесів повзучості, рис. 1,б. Тріщини зароджувались у зернах, або на їхніх межах і проростали у глибину матеріалу. Зародження тріщин відбувалося внаслідок деформування поверхневих шарів матеріалу під шаром окислів. Наявність окислення інтенсифікувало процес руйнування, проте визначальними були структурні характеристики матеріалу, його дефектність. Збільшення довжини дефектів спричинило їх впорядкування, а також появу окремих поперечних тріщин, які, взаємодіючи з радіальними дефектами, сформували сітку множинного розтріскування поблизу крайки отвору, рис. 1,а,б. Поглинання локальними ділянками поверхні енергії деформування активує дискретне мікроруйнування карбідів.

На нашу думку, накопичення пошкоджень в околі дисперсних виділень пов'язано, головним чином, з полями напружень та енергією їх взаємовпливу за зростаючої густини дислокацій. Термоциклічне пружно-пластичне деформування змінює дислокаційну структуру матеріалу поблизу карбідів утворюючи ділянки локальної неоднорідності напружень. Еволюція дислокаційної структури збільшує концентрацію напружень у карбідах, спричиняючи зародження мікротріщин. У нашому випадку, стохастичність розташування тріщин визначається кількістю та розмірами карбідних включень. Подальше підростання тріщини зумовлює їх злиття з суміжними дефектами, що підтверджується наявністю сходинок на їхніх окремих ділянках «довгих тріщин», рис. 1,в. При цьому фронт новоутвореної тріщини випрямляється та стабілізується [7]. Проте навіть на такі тріщини певною мірою впливають локальні умови поширення: мікронеоднорідність структури і флуктуації напружень, їх перерозподіл з умови наявності поблизу інших дефектів, рис. 1,в.

Одним з додаткових пошкоджувальних факторів є корозійний вплив [6]. Відомо, що за робочої температури 450...500 °С сталь 12Х1МФ є стійкою до корозії, а вище 530 °С починається її окислення, яке проявляється у вигляді пароводяної корозії та окалиноутворення, рис. 1,а,б. Результатом цих процесів є утворення плівки окислу Fe₃O₄. Проте вона не є суцільною і не перешкоджає подальшому окисленню металу.

Грунтуючись на попередніх результатах і даних фракторафічного аналізу, можна стверджувати, що структурна деградація передусє множинному розтріскуванню сталі 12Х1МФ. Тривале напруження за умов механічного навантаження з накладанням термоциклічної складової інтенсифікує дифузійні процеси на межах фаз сталі 12Х1МФ, спричиняючи знеміцнення матеріалу з одночасною коагуляцією та сфероїдизацією карбідів на межах зерен [5]. Структурна неоднорідність матеріалу, яка за значних механічних напружень зумовлює виникнення мікротріщин, рис. 2,в. Короткі тріщини розташовуються, переважно, в околі джерела її зародження – зони локалізації напружень та деформацій, рис. 2,г.

Крім структурних факторів на кінетику зародження мікрodefektів впливає стан та властивості поверхневого шару, зокрема, наявність вільної поверхні (менша енергоємність деформування, вплив середовища) та технологія її виготовлення (мікрогеометрія поверхні, властивості поверхневого шару), що зумовлює специфічні умови деформування матеріалу [1].

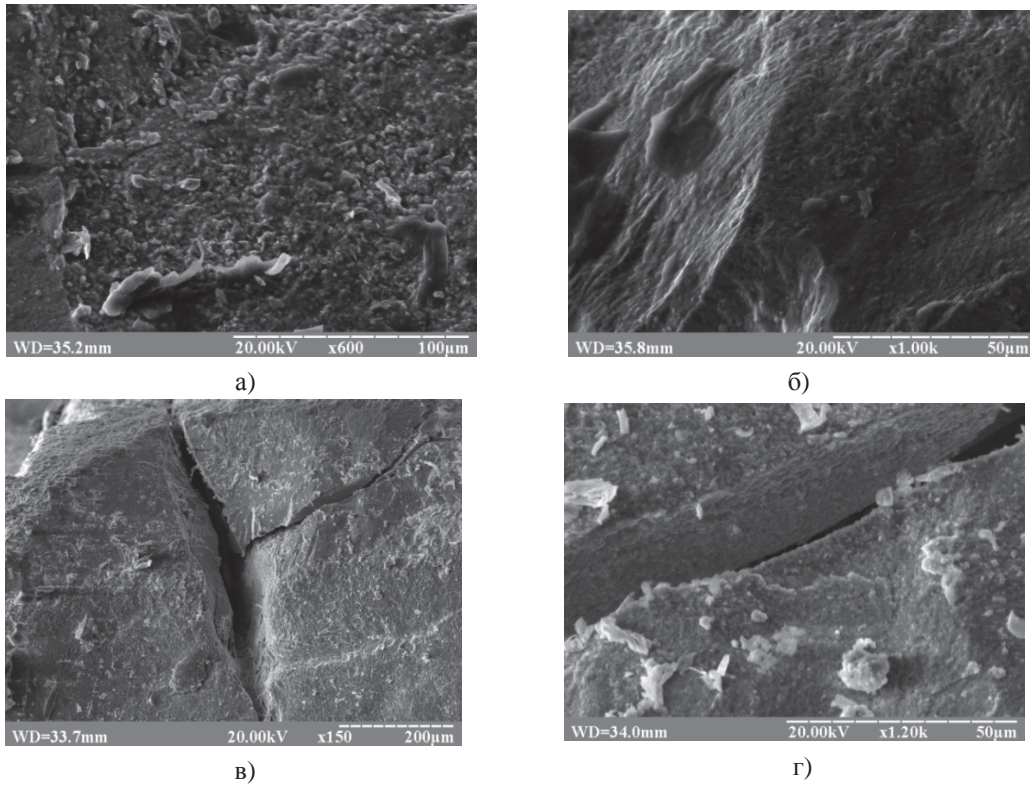


Рис. 2. Фрактограми поверхні пароперегрівача зі сформованими експлуатаційними тріщинами: а,б – окислена поверхня; в,г – експлуатаційні тріщини

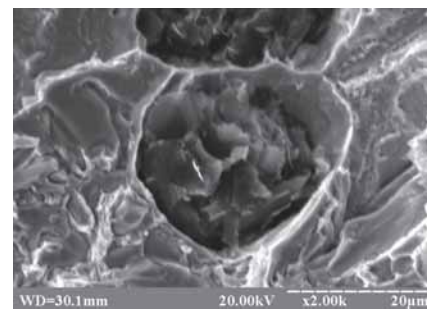
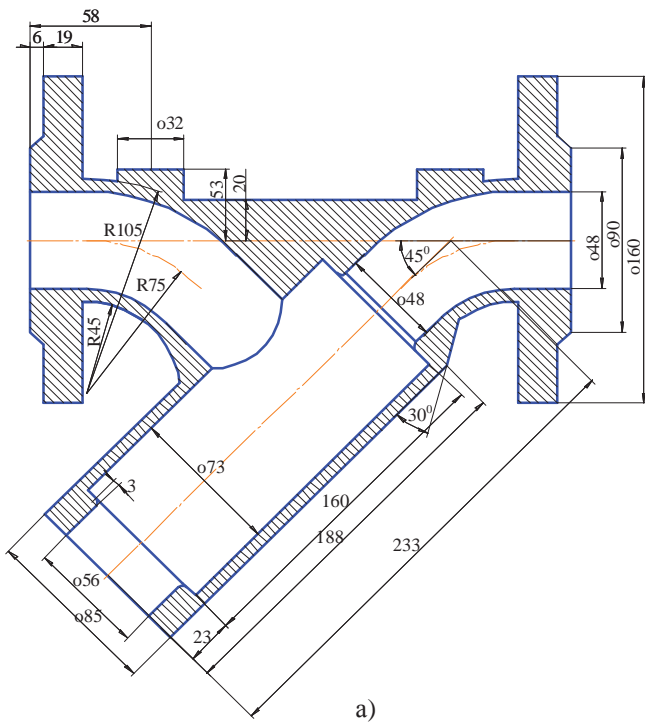
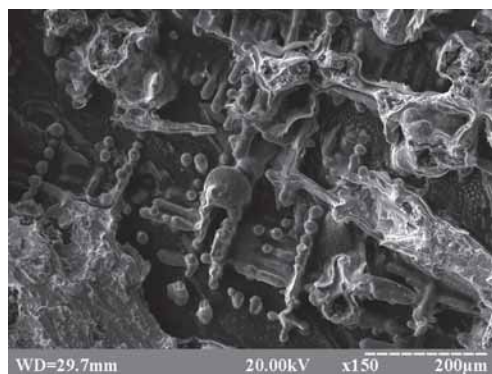


Рис. 3. Схема дослідженого фільтра ФСГ (а), його злам (б) та графітові включення у його структурі (в)

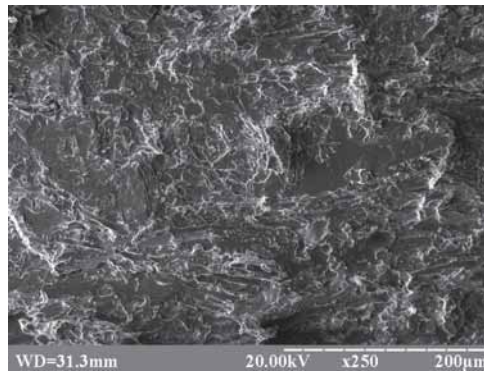
Аналіз причин руйнування фільтра газової суміші. Злам має розгалужену поверхню у вигляді ламаної лінії з кутом нахилу до повздовжньої осі 45° і охоплює весь периметр труби. Очевидно, що причиною руйнування є макротріщина, яка утворилась з мікроконцентра (ливар-

ного мікродефекту) та поширилась у всьому перерізі деталі, рис. 3,а,б.

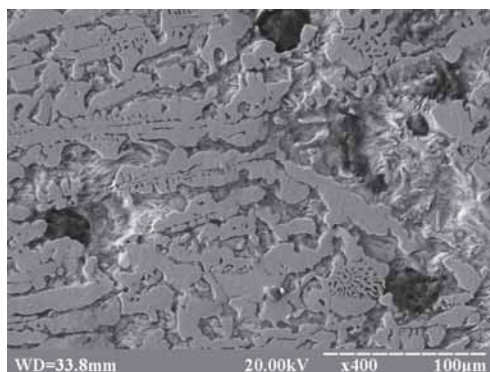
Після зовнішнього огляду проведено фрактографічний аналіз зламу поверхні руйнування (див. рис. 3,б). Злам має матовий сірий колір та кристалічний розвинений



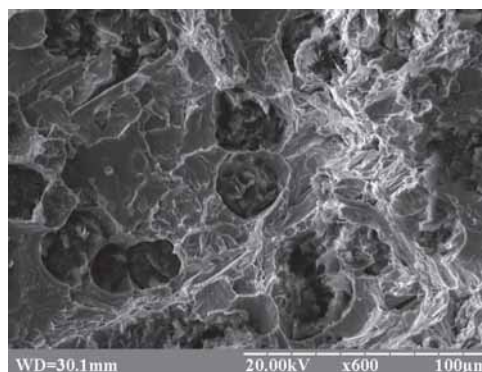
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Фрактограми поверхні макropopожнини (а,б) поверхні корпусу фільтра ФГС та графітові включення (в,г)

східчатий рельєф, вкритий фасетками сколювання. Складна геометрія зламу, очевидно, пов'язана з неоднорідним напруженим станом деталі та розвитком тріщини в різних площинах [8, 9]. У зламі можна також виділити згладжену ділянку доламу та ділянки зі змішаним рельєфом в околі ребра жорсткості. Наявність вторинних металургійних дефектів у чавуні була однією з додаткових причин швидкого старту тріщини, рис. 3,в.

Струмковий візерунок, утворений різноорієнтованими ділянками зламу, відображає крихкий механізм об'єднання мікротріщин. Подібний механізм є типовим для руйнування чавунів [10]. Виявлено технологічні у вигляді розшарувань довжиною 0,2...2,5 мм, рис. 4,а. Отже, ймовірною причиною руйнування деталі є тріщина ливарного походження.

За результатами фактографічного аналізу можна стверджувати, що поверхня руйнування має дрібнозернисту структуру, виявлено рубці і вторинні тріщини подібні дефекти, рис. 4,б.

Однією з причин крихкості зламу матеріалу є його структурна неоднорідність [11,12] внаслідок наявності великих скупчень графітних включень, рис. 4,в. За великих збільшень (x250 раз) помітно, що руйнування матеріалу відбулось квазісколюванням, з наявністю локальних ділянок мікропластичності. Основною складовою такого механізму є наявність фасеток, середній розмір яких становить 20 мкм, та численні графітні включення розміром 20...40 мкм, рис. 4,в,г.

Міцність корпусу газового фільтра може бути досягнута за умов дотримання існуючих норм і дефектності металу та виконанням вимог технологічного процесу водночас. Питання виявлення та контролю дефектності деталей залишається актуальним. Ґрунтуючись на даних фактографічного аналізу, слід зазначити, що одним з основних структурних кроків, які дозволять підвищити тривкість та міцність дослідженої чавунної деталі, є більш рівномірний розподіл вторинних фаз у перерізі відливка корпусу ФГС.

Висновки

За результатами фактографічного аналізу можна стверджувати, що, з інженерної точки зору, за наявності сформованого магістрального дефекту неможливо гарантувати безаварійну роботу досліджених елементів трубопровідних систем.

Встановлено структурно-механічні фактографічні особливості руйнування пароперегрівачів зі сталі 12Х1МФ які полягають у наявності дефектів на внутрішній поверхні труб при в'язко-крихкому поширенні множинних тріщиноподібних дефектів.

У дослідженому матеріалі корпусу газового фільтра виявлено низку усадочних раковин і пор, а також локальну зональну і дендритну ліквіації. Підвищення технологічності і якості лиття корпусів фільтрів може бути досягнуто при зменшенні загального вмісту залишкових домішок

сірки і фосфору, що дозволяє покращати ливарні властивості чавуну, зокрема рідкотекучість.

Література

1. *Yoon K.B., Saxena A., McDowell D.L.* Effect of cyclic overload on the crack growth behavior during hold period at elevated temperature // *Int. J of Fracture.* – 1993. – Vol. 59. – P. 199-211.

2. *Majumdar S.* Assessment of current understanding of mechanism of initiation, arrest and reinitiation of stress corrosion cracks in PWR steam generator tubing // *NUREG/CR-5752, ANL, Argonne, 2000.* – 112 p.

3. *Kulikov V.P., Sandomirskii S.G., Belyagov A.M.* Deviations from parameters of thermal cycle of electric-arc welding of 12Kh1MF Heat-Resistant steel detected in magnetic characteristics of the affected zone // *Russian J. of Nondestructive Testing.* – 2001. - Vol. 37. – P. 805-815.

4. *Saxena A.* Assessment of defects in high temperature components: Part I – Basic concepts // *Welding Research Council Bulletin* – 2003. – Vol. 483. - P. 1-25.

5. *Dogan B.* High temperature defect assessment procedures // *Int. J. of Pressure Vessels and Piping.* – 2003. – Vol. 80(3). – P. 149-156.

6. *Adrian G., Bibire L., Cobrea C.* Researches concerning the initiation and development of fracture cracks in thermal fatigue conditions // *Metalurgia Int.* – 2009. – Vol. 14(3). – P. 37-39.

7. *Asi O.* Failure analysis of a crankshaft made from ductile cast iron // *Engineering Failure Analysis.*, – 2006. – Vol. 13 (8). – P. 1260-1267.

8. *Chaengkhram P., Srichandr P.* Continuously cast ductile iron: Processing, structures, and properties // *Journal of*

Materials Processing Technology. – 2011. – Vol.211 (8). – P. 1372-1378.

9. *Nilsson K.-F., Vokal V.* Analysis of ductile cast iron tensile tests to relate ductility variation to casting defects and material microstructure // *Materials Science and Engineering A.* – 2009. – Vol. 502 (1-2). – P. 54-63.

10. *Diao X.G., Ning Z.L., Cao F.Y., Ren S.Z., Sun J.F.* Effects of trace elements on the formation of spheroidal graphite in ductile iron // *Advanced Materials Research.* – 2011. – Vol. 239-242. – P. 1239-1242

11. *Nilsson K.-F., Blagoeva D., Moretto P.* An experimental and numerical analysis to correlate variation in ductility to defects and microstructure in ductile cast iron components // *Engineering Fracture Mechanics.* – 2006. – Vol. 73 (9). - P. 1133-1157.

12. *Maruschak P., Okipnyi I., Panin S., Brevus V., Soro-chak A.* Analysis of causes of failure of the system elements of the water and gas supply // *Journal of Ternopil National Technical University.* 2011. – Sp. Iss. – Part 1. – P. 124-129.

Отримана 24.01.11

P. Maruschak, G. Danylyshyn, I. Okipnyi, A. Soro-chak
Damage analysis of operational and technological multiple cracking

Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil

A failure investigation was conducted on a steam header of Burshytynska Power Plant. A part of the steam header during operation damaged by multiple cracking. An analysis of the damaged steam headers revealed a creep and fatigue problem, and the fractographic investigations of the fatigue cracks initiation and growth during equipment operation was investigated to determine the cause. A filter of the gas mixture from «Alpha-Gaspromcomplex» company has been experimentally investigated. A series of fractographic investigations of technological defects after failure have been carried out.

21 01 01 2011

12-та Міжнародна науково-технічна конференція ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

4 — 8 червня 2012 р., м. Ялта, Крим, Україна

Тематика конференції:

Наукові основи інженерії поверхні: матеріалознавство фізико-хімічна механіка матеріалів; фізикохімія контактної взаємодії; зносо- і корозійна стійкість, міцність поверхневого шару; функціональні покриття і поверхні

Тертя, зношування і мащення в машинах

Технологічне керування якістю і експлуатаційними властивостями деталей машин

Технологія ремонту машин, відновлення і зміцнення деталей

Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва

Екологія ремонтно-відновлювальних робіт

Адреса організаторів:

АТМ України

04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2.

Тел. /Факс: +38-044-430-85-00

E-mail: atmu@ism.kiev.ua, kopeykina@voliacable.com, atmu@meta.ua