

РЕЦЕНЗІЯ

**на дисертаційну роботу Івана Олександровича Цибайла
«Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі
12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного
оброблення», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство».**

За результатами вивчення дисертаційної роботи, ознайомлення з опублікованими роботами здобувача за темою дисертації слід відзначити наступне:

Актуальність теми дисертації та зв'язок з науково-технічними програмами. Забезпечення надійності і довговічності роботи енергетичного обладнання, яке тривало експлуатується в умовах корозійного та наводнювального впливу технологічних середовищ за підвищених температури і тиску, термічних та механічних напружень – важливе завдання для матеріалознавства та механічної інженерії. На даний час таке обладнання значною мірою зношене через складні умови і перевищення встановлених термінів експлуатації. Тому оцінювання поточного технічного стану металу тривало експлуатованих елементів конструкцій ТЕС з огляду на можливу деградацію їх мікроструктури і властивостей та пошук шляхів продовження їх ресурсу є важливим і актуальним науково-технічним завданням сучасного матеріалознавства.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідних програм з оцінювання структурно-механічного стану металу об'єктів енергетичного комплексу у відділі діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України в рамках низки бюджетних тем (№№ держреєстрації 0121U108961, 0124U000911) в яких автор брав участь як виконавець.

Новизна представлених теоретичних та/або експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень. У рамках поставлених та вирішених у дисертації завдань отримано ряд нових наукових та практичних результатів.

- У роботі вперше запропоновано режим комплексного термічного оброблення для відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої теплотривкої сталі.

- Встановлено, що після термічного оброблення зменшилася кількість карбідів на межах зерен внаслідок їх розчинення, що вважають чинником

підвищення когезивної міцності цих меж, а досягнутий розподіл зерен за розміром у структурі сталі сприятиме підвищенню її опору повзучості.

- Під час випроб на розтяг на зламі експлуатованої сталі вперше виявили розсипи нанорозмірних відколів карбідів, що є ознакою збереження когезії великих карбідів з матрицею. Тоді як дрібні карбіди (десяті долі мікрона) на дні ямок зламу відновленої сталі розцінювали як ознаку їх високої когезії з матрицею.

- Експериментально показано, що термічне оброблення, згідно запропонованого режиму, підвищує твердість, міцність, пластичність та опір крихкому руйнуванню сталі по всьому перерізу труби до регламентованих значень.

- Вперше показано, що після наводнювання відновленої сталі механічні характеристики не перестають відповідати регламентним вимогам, на відміну від експлуатованої. Також розкрито особливості механізму руйнування експлуатованої та відновленої сталі за випроб на розтяг та виявлено фрактографічні ознаки впливу додаткового наводнювання як чинника виявлення експлуатаційних пошкоджень.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. Ознак порушення принципів академічної доброчесності не встановлено. Також під час перевірки дисертації не виявлено академічного плагіату, не встановлено фабрикації та фальсифікації даних, чи будь-яких інших порушень академічної доброчесності.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Надійність та обґрунтованість наведених у дисертації наукових положень та висновків підтверджується чітким формулюванням завдань, визначенням напрямів їх вирішення, комплексним підходом до експериментів, виконаних на сучасному обладнанні із застосуванням перевірених методик. Достовірність результатів дослідження підтверджується їх відповідністю сучасним уявленням про експлуатаційну деградацію конструкційних сталей, узгодженістю з результатами інших досліджень та логічним поясненням отриманих результатів. Висновки відповідають поставленим завданням, кожен з них має підтвердження.

Оформлення та структура. Дисертаційна робота подана у вигляді рукопису і складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, переліку з 157 використаних літературних джерел і додатку, що містить акт про корисність результатів роботи для підприємств теплоенергетики.

Анотація стисло передає зміст наукової роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано її мету та основні завдання. Також визначено об'єкт, предмет та методи досліджень. Окреслено наукову новизну і практичне значення наукових результатів. Представлено список наукових публікацій здобувача та його особистий внесок у кожній з них, а також перелік наукових конференцій, на яких представлялися та обговорювалися отримані в роботі результати.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан досліджень високотемпературної деградації гинів парогонів, виготовлених з оццнолегованих теплотривких сталей, описано відомі закономірності зміни їх структури та механічних характеристик, механізми їх руйнування з урахуванням впливу наводнювання. Сформульовано завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі висвітлено методичні аспекти роботи. Розкрито особливості експлуатації вертикального гину головного парогону ТЕС, виготовленого з теплотривкої сталі 12Х1МФ, тривалість його експлуатації $\sim 2.86 \cdot 10^5$ год. Описано методи і устаткування, використані для оцінювання хімічного складу, структури, механічних властивостей та фрактографічних особливостей руйнування зразків, у тому числі, за впливу наводнювання.

У третьому розділі представлено результати оцінювання технічного стану сталі 12Х1МФ після тривалої експлуатації на парогоні ТЕС. Зокрема, наведено механічні характеристики різних зон гину, особливості їх руйнування за випробувань розтягом та ударом. Оцінено мікроструктуру різних зон гину з урахуванням зміни розміру зерен та розподілу карбідів і пор. Показано, що дрібні карбіди на зламі відновленої сталі можна розцінювати як ознаку їх високої когезії з матрицею.

У четвертому розділі представлено вплив відновлювального термічного оброблення сталі у розтягненій зоні гину на її структурно-механічний стан. Обґрунтовано вибір оптимального режиму термічного оброблення для відновлення експлуатованої сталі на основі аналізу зміни механічних властивостей, мікроструктури, та фрактографічних особливостей руйнування зразків за випробувань розтягом та ударом. Експериментально показано, що термічне оброблення відновлює механічні властивості сталі до регламентованих значень.

У п'ятому розділі оцінено схильність до водневого окрихчення сталі після відновлювального термічного оброблення. Детально проаналізовано вплив електролітичного наводнювання на зміну мікроструктури, механічних, макро- і мікрофрактографічних характеристик зразків експлуатованої та відновленої сталі розтягнутої зони гину. Показано, що на

відміну від експлуатованої сталі механічні характеристики після її відновлення та додаткового наводнювання все ще зберігають відповідність регламентним вимогам.

У висновках сформульовано основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

За структурою, мовою та стилем викладення дисертація робота є завершеною науковою роботою, що відповідає чинним вимогам МОН України, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, з них 8 – у виданнях, що входять до баз даних Scopus та WoS із к्वартилями Q1 – Q3. Індекс Гірша автора – 5.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Для моделювання наводнювання сталі 12Х1МФ протягом тривалої експлуатації на парогоні ТЕС запропоновано її електролітичне наводнювання у водному розчині H_2SO_4 ($\text{pH}=0$) з додаванням 2 г/л тіосечовини за густини струму 50 мА/см² протягом 15 хв. Проте в дисертації не обґрунтовано вибір саме такого режиму наводнювання.

2. У роботі доречно було б навести дані про концентрацію водню, абсорбованого сталлю після тривалої експлуатації та додаткового електролітичного наводнювання.

3. У дисертації варто було б показати вплив електролітичного наводнювання на мікроструктуру і дефектність термічно відновленої сталі перед прикладанням механічних навантажень.

4. Загальні висновки до дисертації чіткі, лаконічні, націлені на висвітлення основних результатів. На відміну від них, проміжні висновки до розділів 3–5 занадто розширені, що ускладнює сприйняття зроблених узагальнень та розуміння їх відповідності поставленим завданням.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Цибайла Івана Олександровича «Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі 12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного оброблення», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є завершеною науковою роботою, у якій отримано нові науково та практично важливі результати, які є суттєвим вкладом у розв'язання науково-технічних завдань, спрямованих на оцінювання поточного технічного стану тривало експлуатованої сталі в елементах конструкцій ТЕС з урахуванням деградації їх мікроструктури і властивостей та на пошук шляхів продовження їх ресурсу.

За новизною отриманих результатів, ступенем їх обґрунтованості, обсягом проведених досліджень та повнотою матеріалів публікацій досліджень і їх апробації робота відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017р. № 40 "Про затвердження Вимог до оформлення дисертації" та вимогам "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії" затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами), а її автор, Цибайло Іван Олександрович, заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Рецензент

Старший науковий співробітник
відділу корозії та протикорозійного захисту
Фізико-механічного інституту
ім. Г. В. Карпенка НАН України

кандидат технічних наук



Христина ВАСИЛІВ

