

ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **«Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі 12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного оброблення» Цибайла Івана Олександровича,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 132 – Матеріалознавство

Актуальність дисертаційної роботи.

Енергетичне обладнання в Україні значною мірою зношене через складні умови експлуатації та перевищення встановлених термінів їх використання. Тому завдання, пов'язані з оцінюванням фактичного технічного стану металу після тривалої експлуатації у відповідальних елементах ТЕС та пошук шляхів подовження їх ресурсу не втрачають актуальності. Гини системи головних парогонів працюють у складних температурно-силових умовах і їх відносять до небезпечних елементів з підвищеним ризиком для персоналу у разі виникнення в них наскрізних пошкоджень. Їх виготовляють із теплотривких низьколегованих сталей, які з часом втрачають фізико-механічні властивості, характерні для них перед експлуатацією.

Технічні показники цих сталей змінюються під впливом високих температур і тиску пари, корозії, водню, термічних напружень, крутних й згинальних моментів, а також часті відхилення від стаціонарного режиму експлуатації з причин, обумовлених різними чинниками. Зокрема, до них відносять зупинки технологічного процесу, пов'язані з маневренним режимом роботи теплових електростанцій, заплановані чи технологічно вимушені (у тому числі і через військові дії). У результаті змінюється структура металу, знижується його міцність, виникають мікро- і макротріщини, що врешті-решт завершується руйнуванням. Особливої уваги заслуговує водневе окрихчення: проникаючи в пори на межах зерен, водень створює в них тиск і сприяє відшаруванню карбідів, що пришвидшує мікророзтріскування.

Дослідження з відновлення властивостей експлуатованих сталей є актуальними. Перспективним є застосування повторного термічного оброблення для відновлення структури й властивостей сталей, зокрема на ділянках гинів головних парогонів, де процеси деградації відбуваються інтенсивніше ніж на прямих ділянках. Важливо дослідити ефективність такого оброблення та оцінити стійкість відновленого металу до дії водню. Отже, аналіз деградаційних процесів у теплотривких сталях і пошук шляхів продовження їх ресурсу є завданням, яке важливе для сучасного матеріалознавства і з наукової, і з практичної точок зору.

Загальна оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеність

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації викладено на 187 сторінках (з них, 164 – основного тексту), містять 9 таблиць і 75 рисунків, список використаних джерел включає 157 найменувань.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, відзначено наукову новизну одержаних результатів та практичну цінність роботи.

У першому розділі проаналізовано умови експлуатації головних парогонів ТЕС та чинники впливу на зміну структурно-механічного стану теплотривких сталей. Відзначено також роль водню у зміні механічних властивостей теплотривких сталей. Також висвітлено підходи, які використовуються для відновлення властивостей та структури сталей. На основі глибокого аналізу літературних джерел сформульовано завдання досліджень.

У другому розділі наведено методики проведення експериментів та перелік використаного обладнання. Описано методичні особливості визначення механічних властивостей аналізованих варіантів сталі, використаних для їх атестації, зокрема таких як твердість, характеристики міцності і пластичності за розтягу у повітрі (у тому числі після попереднього електролітичного наводнювання) та за випробувань на удар. Описано особливості застосування комп'ютерних програм до досліджень зміни структурних показників (розмір зерна та включень вздовж меж зерен).

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений результатам оцінювання технічного стану сталі 12Х1МФ після тривалої експлуатації на парогоні ТЕС. Зокрема, отримано механічні характеристики теплотривкої сталі з розтягнутої, нейтральної та стисненої зон експлуатованого гину за випробувань на розтяг та удар і обґрунтовано вибір металу його розтягнутої зони як найбільш ушкоджений під час експлуатації. Представлено результати структури експлуатованої сталі та проаналізовано зміни розміру зерен та розподілу карбідів і пор на межах та тілу зерен. Проаналізовано фрактографічні особливості зламів експлуатованої сталі і виявлено очевидну ознаку її деградації у вигляді нанорозмірних часточок на дні ямок в'язкого рельєфу, які вважали залишками зв'язків між матрицею і крупними карбідами (понад 3мкм), що виділились на межах зерен під час експлуатації сталі.

У четвертому розділі проаналізовано режими термічного оброблення для відновлення структурно-механічного стану сталі 12Х1МФ, експлуатованої у розтягненій зоні гину парогону ТЕС. На основі аналізу зміни механічних властивостей, мікроструктури, та особливостей механізмів руйнування зразків, випробуваних на розтяг та удар, обґрунтовано режим відновлювального термічного

оброблення. Проведені дослідження показали покращення структури сталі, зокрема зменшення розмірів зерен, карбідів і пор, а також однорідність структури по товщині перерізу труби. Механічні випробування підтвердили підвищення пластичності та ударної в'язкості відновленої сталі зі збереженням на прийнятному рівні міцності. Фрактографічний аналіз зламів засвідчив, що після відновлювального термічного оброблення реалізовувався типовий в'язкий механізм руйнування з дрібними карбідами на дні ямок як ознаки збереження їх когезії з матрицею.

У п'ятому розділі досліджено схильність сталі 12X1МФ до водневого окрихчення після експлуатаційної деградації та відновлювального термічного оброблення. Показано, що наводнювання призвело до погіршення характеристик як експлуатованого, так і відновленого варіантів сталі, проте остання продемонструвала вищу стійкість до водневого окрихчення. Встановлено, що хоча наводнювання частково і знизило позитивний вплив відновлювальної термообробки на механічні властивості сталі, зокрема на її пластичність, проте всі механічні властивості відновленої сталі задовольнили вимоги регламентних галузевих документів. Тоді як властивості експлуатованої сталі стали ще нижчими, ніж після експлуатації. Фрактографічний аналіз зламів показав характерні ознаки водневого впливу – розшарування, фасетки та крізьзеренне руйнування, які менш виражені у відновленій сталі, що підтверджує зменшення чутливості до впливу водню після проведеного термічного оброблення.

Структурно дисертація логічно побудована, відповідає сформульованим меті і завданням досліджень. Основні результати досліджень викладено змістовно і послідовно, наглядно проілюстровані рисунками і даними у табличному представленні.

Новизна представлених теоретичних та/або експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень.

Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, на належному рівні обґрунтували доцільність використання режиму дворазової нормалізації з наступним відпуском для відновлення властивостей теплотривкої сталі 12X1МФ. Зокрема визначено тривалість витримки 150 хв при 1100°C. Запропонований режим сприяв зменшенню кількості «великих» зерен і зростанню частки дрібних по всій товщині стінки труби. Доведено, що термічне оброблення зменшило кількість карбідів на межах зерен, підвищивши тим самим когезійну міцність меж суміжних зерен. Вперше встановлено часткову декогезію крупних карбідів від матриці в експлуатованій сталі. Про це свідчили виявлені на дні ямок в'язкого рельєфу зламу нанорозмірні часточки, які вважали відколами від крупних карбідів. Наявність цих часточок свідчить про збереження локальної когезії між карбідами і матрицею навіть після тривалої

експлуатації. Завдяки цьому стало можливим дисоціація крупних карбідів під час термічного оброблення.

Експериментально показано, що після запропонованого оброблення покращуються основні механічні властивості сталі: твердість, міцність, пластичність та опір крихкому руйнуванню, і вони відповідають нормативним вимогам. Встановлено, що після додаткового наводнювання відновлена сталь зберегла прийнятні характеристики, на відміну від експлуатованої. Фрактографічним аналізом зламів зразків ідентифіковано механізм руйнування, зокрема у сталі після експлуатації водень ініціює кризьзеренні відколи, ініційовані великими карбідами на межах зерен, особливо на стиках трьох зерен, тоді як у відновленій сталі – це відбувалось скоріше як виняток і лише від великих неметалевих включень, яких у структурі небагато.

Отримані результати мають практичне значення для підвищення надійності елементів парогонів ТЕС, зокрема в умовах тривалої високотемпературної експлуатації. Запропонований режим відновлювального термічного оброблення довів свою ефективність на сталі з найбільш деградованої розтягненої зони гину, забезпечивши відновлення структури й механічних властивостей до рівня, що відповідає чинним нормативам. Ці результати рекомендовані до впровадження ремонтному підприємству для продовження ресурсу парогонів на ТЕС західного регіону.

Таким чином, сформульоване у дисертаційній роботі наукове завдання виконано в повному обсязі, а здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукових досліджень.

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

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методології наукової діяльності та відповідність темі дисертації.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні з дотриманням усіх методичних вимог. Дисертантом проведено аналіз бібліографічних джерел останніх років, в яких висвітлюються аналіз структурно-механічного стану теплотривких сталей парогонів, та різні підходи до відновлення первинних властивостей, втрачених продовж їх тривалої експлуатації, на основі чого було сформовано мету та завдання роботи. Дисертант успішно опанував методологію наукової діяльності, самостійно провів експериментальні дослідження та опрацював отримані результати, які представлені у рукописі дисертаційної роботи і опублікованих наукових працях. З

урахуванням цього вважаю, що дисертант у повній мірі опанував знання та навички, які є необхідні для здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Практична цінність одержаних результатів. Запропонований режим термічного оброблення використано для розроблення алгоритму відновлення роботоздатності тривало експлуатованих елементів парогонів ТЕС для продовження їх ресурсу та запобігання дочасного виникнення в них непрогнозованих пошкоджень.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях. За темою дослідження дисертантом опубліковано 16 наукових праць, що відповідають темі дисертації. Серед наведених публікацій 8 статей, надрукованих у наукових виданнях, що входять до баз даних Scopus та Web of Science, та 8 тез, опублікованих у матеріалах престижних наукових конференцій.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертаційна робота за оформленням відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017р. № 40 "Про затвердження Вимог до оформлення дисертації". Стил викладу матеріалів дисертаційної роботи є логічним, речення в основному побудовано лаконічно та без перевантажень, що забезпечує легке сприйняття. Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації:

1. В методичній частині дисертаційної роботи (підрозділ 2.2.3) зазначено про розташування зразків у центрі перерізу труби та біля зовнішньої і внутрішньої поверхонь труби. Проте, варто було зазначити віддаль розташування осей зразків від обох поверхонь труби. Таку ж інформацію, необхідно було подати щодо вершин надрізів зразків у підрозділі 2.2.2 методичної частини роботи.

2. В роботі значну увагу приділено аналізу кількості і розмірів карбідів, що виявляли в експлуатованій сталі та після її відновлення. Разом з тим не використано метод рентгенівської дифракції, щоб ідентифікувати їх фазовий склад. Це, безумовно збагатило б роботу і додало б їй вагомості.

3. Під час аналізу структурних змін в сталі, спричинених відновлювальною термічною обробкою, використано три типорозміри зерен, проте не обґрунтовано, чому зроблено саме такий вибір. Це потребує уточнюючого пояснення. Те ж стосується і вибору розмірів карбідів чи їх слідів, які взято до уваги під час аналізу.

4. В дослідженнях з наводнюванням обох варіантів сталі використано єдиний режим наводнювання і за густиною струму, і за тривалістю. Необхідні пояснення, щодо вибору саме такого режиму.

Зазначені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

уточнюючого пояснення. Те ж стосується і вибору розмірів карбідів чи їх слідів, які взято до уваги під час аналізу.

4. В дослідженнях з наводнюванням обох варіантів сталі використано єдиний режим наводнювання і за густиною струму, і за тривалістю. Необхідні пояснення, щодо вибору саме такого режиму.

Зазначені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

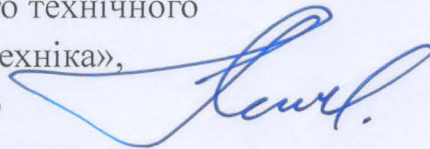
Загальні висновки

Вважаю, що дисертаційна робота Цибайла Івана Олександровича «Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі 12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного оброблення» є завершеною науковою і кваліфікаційною роботою, яка містить нові наукові і практичні результати. Наведені в роботі результати науково-обґрунтовані, та в сукупності дозволило автору вирішити важливе науково-технічне завдання по відновленню властивостей та структури теплотривких сталей термічним обробленням.

За новизною отриманих результатів, їх обґрунтованістю, обсягом проведених досліджень, повнотою представлення результатів досліджень у публікаціях та їх апробацією і обговоренням в наукових колах на міжнародних конференціях 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.

Офіційний опонент:

Професор кафедри Конструювання, технічної естетики і дизайну Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
доктор технічних наук, професор



Дмитро ЛАУХІН

Перший проректор
НТУ «ДП»
з.т.н., проф

