

ВІДГУК

на дисертаційну роботу

Цибайла Івана Олександровича

«Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі

12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного

оброблення», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 – Механічна інженерія

зі спеціальності 132 – «Матеріалознавство»

Актуальність теми дисертаційної роботи. На сьогодні в енергетичній галузі України зростає потреба у подовженні ресурсу роботи існуючого обладнання, зокрема парогонів, які зазнали тривалої експлуатації в умовах високих температур і тисків. Значна частина енергетичного обладнання в Україні вичерпала або перевищила свій проектний ресурс. Одним із критично важливих елементів у технологічному ланцюгу ТЕС є гни парогонів. Враховуючи понаднормову тривалу експлуатацію, у них відбуваються процеси деградації з трансформацією структури та зниженням властивостей теплотривких сталей, що сприяє вичерпуванню ресурсу парогонів та суттєво знижує надійність та безпечність функціонування об'єкта в цілому.

Особливу увагу привертають розтягнені ділянки гинів з підвищеною концентрацією напружень, що сприяє виникненню пошкоджень в теплотривких сталях внаслідок їх повзучості, коагуляції карбідів на межах зерен і втраті запасу пластичності. За відсутності технологічно й економічно обґрунтованих рішень щодо відновлення механічних властивостей таких сталей, підприємства змушені замінювати критично пошкоджені елементи, що пов'язано з суттєвими витратами. Продовження ресурсу без заміни ключових елементів за допомогою технологій відновлення властивостей металів є надзвичайно важливою як у науковому, так і в інженерному вимірах. Саме тому відновлення структури та механічних властивостей тривало експлуатованих теплотривких сталей термічним обробленням є актуальним завданням не лише з наукової, а й з прикладної точок зору.

Дисертаційне дослідження Цибайла І. О. є актуальним та своєчасним, оскільки спрямоване на вирішення науково-технічного завдання важливого для енергетичної галузі – обґрунтування та впровадження ефективного режиму відновлювального термічного оброблення критично деградованої сталі парогонів. Результати роботи мають потенціал до впровадження безпосередньо у виробничому процесі, що підтверджує їх практичну значущість.

Оцінка наукового рівня дисертації і наукових публікацій здобувача. Аналіз поданої дисертаційної роботи свідчить про її високий науковий рівень. Дослідження відзначається чітко сформульованою метою, її узгодженістю із завданнями та послідовною реалізацією експериментальних досліджень. Автором запропоновано науково обґрунтований підхід для відновлення властивостей теплотривкої сталі 12Х1МФ, тривало експлуатованої в розтягненій зоні гину головного парогону ТЕС. Зокрема, обґрунтовано режим

двоступної нормалізації з наступним відпуском, що дозволив суттєво покращити структурні та механічні характеристики теплотривкої сталі.

Важливо відзначити, що автор не лише виявив особливості структурної деградації та зниження пластичності сталі після тривалої експлуатації, але й встановив фрактографічні ознаки, пов'язані з цими процесами, підтверджені відповідними електронно-мікроскопічними дослідженнями. Наукова цінність роботи полягає також в тому, що здобувач вперше дослідив вплив додаткового наводнення на механічні властивості як експлуатованої, так і відновленої сталі, обґрунтувавши збереження ефекту відновлення навіть за дії водню — одного з ключових чинників окрихчення металів.

Основні результати дисертаційної роботи оприлюднено у 16 наукових публікаціях, серед яких 8 індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, що свідчить про належний рівень апробації та міжнародне визнання результатів дослідження. Індекс Гірша здобувача становить 5, що є високим показником наукової активності молодого дослідника.

Узагальнюючи викладене, вважаю, що дисертаційна робота Івана Олександровича Цибайла виконана на високому науковому рівні, а отримані в ній результати вносять вагомий вклад у розвиток прикладного матеріалознавства.

Оцінка змісту основної частини дисертаційної роботи. Дисертація Цибайла І. О. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що налічує 157 найменувань, та додатків. Загальний обсяг роботи становить 187 сторінок, вона містить 75 рисунків і 9 таблиць.

У *першому розділі* подано ґрунтовний огляд наукової літератури із систематизацією чинників деградації теплотривких сталей під час їх експлуатації на парогонках ТЕС та методів її діагностики. Розглянуто мікроструктурні особливості в сталях після тривалої експлуатації та пов'язані з цим зміни їх механічних властивостей. Висвітлено роль абсорбованого водню як каталізатора пошкодженості. Значну увагу приділено підходам до відновлення властивостей сталей, що втратили початкові експлуатаційні характеристики, з чітким обґрунтуванням актуальності теми та завдань, які необхідно вирішити. Заслуговує уваги структурованість подачі матеріалу та логічна постановка завдань.

Другий розділ містить опис об'єкта дослідження та експериментальних методик, (твердість, ударна в'язкість, розтяг, металографія, фрактографія, електролітичне наводнення), що є релевантними поставленим цілям. Зокрема, подано схему вибірки зразків із різних зон гину труби, розглянуто деталі проведення вимірювань твердості, ударної в'язкості, механічних випробувань на розтяг, а також методику електролітичного наводнення та структурного і фрактографічного аналізів. Використання всіх методів дослідження обґрунтовані, а їх поєднання комплексно визначає технічний стан металу.

У *третьому розділі* представлено результати оцінювання технічного стану сталі 12Х1МФ після тривалої експлуатації в гині парогону. Особливу

увагу приділено його розтягненій зоні, де зафіксовано найінтенсивнішу деградацію структури. Приведено детальний мікроструктурний аналіз, зокрема визначено розмір зерен, розподіл карбідів та пор, а також встановлено фрактографічні ознаки пошкодженості, що засвідчили вичерпання ресурсу сталі в околі зовнішньої поверхні труби, надано інтерпретацію механізмів руйнування.

Четвертий розділ зосереджено на відновленні структури й властивостей експлуатованої сталі шляхом модифікованого термічного оброблення. Детально обґрунтовано вибір режиму (подвійна нормалізація за 1100°C, 960°C та відпуск при 740°C), подано кількісну оцінку розміру зерен, карбідів і пор, а також порівняльний аналіз механічних властивостей до і після оброблення. Фрактографічним аналізом зламів зразків підтверджено відновлення когезії між зернами, що проявилось в'язким руйнуванням з дрібними карбідами на дні ямкового рельєфу. Показано, що новий режим забезпечує підвищення твердості, міцності, пластичності й ударної в'язкості.

П'ятий розділ розкриває особливості впливу наводнювання на експлуатовану та відновлену сталь. Показано, що водень погіршує механічні властивості обох варіантів сталі, однак відновлена сталь продемонструвала вищу стабільність показників та меншу чутливість до водневого окрихчення. Аналіз зламів зразків засвідчив, що у відновленій сталі залишкові дефекти зміщуються з меж зерен всередину них, що зменшуватиме ризик виникнення міжзеренних руйнувань внаслідок повзучості, а отже, підвищуватиме довговічність парогонів під час їх тривалої експлуатації. Зменшення впливу водневого окрихчення після термооброблення суттєво розширює область застосування результатів.

Новизна представлених теоретичних та/або експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень. У дисертаційній роботі запропоновано науково-обґрунтований метод відновлення властивостей теплотривкої сталі 12Х1МФ після тривалої експлуатації у відповідальних елементах парогонів ТЕС. Обґрунтовано ефективність застосування дворазової нормалізації з наступним відпуском, як відновлювального термічного оброблення, що забезпечує трансформацію структури металу, спрямовану на підвищення його тривалої міцності та запасу пластичності.

Новизна дослідження полягає у встановленні залежності між тривалістю аустенітизації при температурі 1100°C та зміною розміру зерен у сталі 12Х1МФ. Вперше показано, що витримка (150 хв) забезпечує рівномірну дрібнозернисту структуру, сприяє переміщенню карбідів всередину зерен і зменшенню кількості пор, що в комплексі підвищуватиме опір повзучості та міжзеренному розтріскуванню.

Вперше виявлено фрактографічні ознаки деградації та ознаки відновлення сталі після термічного оброблення, а саме на зламах зразків експлуатованої сталі на дні в'язких ямок зафіксовано нанорозмірні часточки, які відкололися від коагульованих карбідів, що свідчить про часткову втрату їх

когезії з матрицею ще під час експлуатації і її остаточну втрату під час випробувань на розтяг. Натомість у відновленій сталі карбіди зберігали зв'язок із матрицею, чим підтверджено ефективність термічного оброблення.

Крім того, вперше обґрунтовано вплив додаткового наводнювання на обидва варіанти сталі – експлуатовану та відновлену. Встановлено, що хоча наводнювання призводило до зниження їх механічних характеристик, проте відновлена сталь зберігала вищу пластичність і міцність порівняно з експлуатованою, що підтверджує її більшу стійкість до водневого окрихчення. Важливою новацією є встановлений механізм розташування експлуатаційних дефектів: після термоброблення вони перемістилися з меж зерен всередину них, що сприятиме зниженню ризику виникнення міжзеренного руйнування.

Рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Поставлена мета у дисертаційній роботі повністю реалізована на високому науковому рівні з дотриманням усіх вимог до наукової діяльності. Цибайло І. О. детально провів бібліографічний аналіз, сформував мету та основні завдання дисертаційної роботи. Здобувач самостійно провів експерименти, здійснив аналіз та узагальнив отримані результати, які опублікував за співавторства, де його доробок є переважаючим та оформив отримані результати у вигляді дисертації. Вище згадане засвідчує, що дисертант успішно опанував методологію наукової діяльності, здобув необхідні теоретичні та практичні знання та навички, які необхідні для доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. За результатами перевірок та аналізу матеріалів дисертаційної роботи не було виявлено ознак плагіату чи фальсифікації даних та будь-яких інших порушень академічної доброчесності.

Позитивні особливості роботи:

- виконано масштабний і комплексний обсяг досліджень, що охоплює аналіз структурних, механічних та фрактографічних характеристик сталі 12Х1МФ після тривалої експлуатації і термічного відновлення;

- обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність запропонованого режиму відновлювального термічного оброблення, зокрема двоступеневої нормалізації з подальшим відпуском, що дозволило суттєво покращити мікроструктуру та механічні властивості сталі;

- вперше застосовано методику оцінки фрактографічних ознак деградації та відновлення, зокрема з виявленням нанорозмірних фрагментів коагульованих карбідів як індикаторів втрати когезії;

- розкрито особливості впливу водню на властивості сталі після відновлення, встановлено перевагу відновленої сталі за стійкістю до водневого окрихчення, що має важливе значення для надійної експлуатації парогонів ТЕС;

- результати досліджень апробовано під час їх представлення на низці авторитетних міжнародних та вітчизняних конференцій, а також запропоновано до впровадження в практичну діяльність ремонтного підрозділу енергетичного підприємства – ВП «Галремеренерго» АТ «ДТЕК Західенерго»;

– режим ВТО, запропонований дисертантом, не вимагає складного устаткування й може бути адаптований до різних умов, що важливо для ТЕС у регіонах з обмеженою технічною базою.

Зауваження до дисертації:

1. Попри обґрунтування модифікованого режиму відновлювального термічного оброблення за структурними та механічними показниками, у роботі не обґрунтовано можливість подовження ресурсу сталі після відновлення, що було б корисним для підтвердження економічної та практичної ефективності впровадження режиму.

2. У роботі наведені лише відносні зміни кількості структурних елементів, що робить неможливим визначення їх кількості в абсолютних значеннях, що було б важливо для порівняння з результатами, отриманими в інших дослідженнях.

3. На стор. 25 у переліку методів досліджень упущено метод електролітичного наводніювання зразків для їх насичення воднем.

4. Під час обґрунтування режиму термічного оброблення експлуатованої сталі в роботі оперували лише тривалістю процесу витримання зразків за вищої температури аустенітизації на першому етапі обробки. Разом з тим, важливо було б взяти до уваги не лише час, але й температуру аустенітизації, яка визначає дифузійну здатність елементів, а отже і швидкість розчинення карбідів у твердому розчині. Вибір температури потребує пояснення.

5. В роботі на стор. 74 стверджується, що феритні зерна у розтягненій зоні гину парогону дещо витягнені вздовж товщини стінки труби. Мені здається це твердження необґрунтоване. Адже зерна витягуються в напрямі дії прикладених ззовні напружень. А вони на тангенціальних зразках діють поперек стінки труби. Тому ця неузгодженість потребує додаткового пояснення.

Загальні висновки. Вказані зауваження не впливають на загальну наукову та практичну цінність дисертаційної роботи. Дисертація Івана Олександровича Цибайла «Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі 12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного оброблення» виконана на високому науковому рівні та має значну практичну цінність для енергетичної галузі.

За новизною отриманих результатів, ступенем їх наукового обґрунтування, обсягом проведених досліджень, повнотою представлених матеріалів, належною публікаційною активністю та апробацією результатів, дисертаційна 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). Враховуючи викладене, вважаю, що Іван Олександрович Цибайло заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії у галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент:

доцент кафедри матеріалознавства

Факультету митної справи, матеріалів та технологій

Луцького національного технічного університету

Кандидат технічних наук, доцент



Наталія ЗАЙЧУК

