Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U002696

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 04-07-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Цибайло Іван Олександрович
2. Ivan O. Tsybailo

Кваліфікація: м.н.с., 132

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1159-5778

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 132

Назва наукової спеціальності: Матеріалознавство

Галузь / галузі знань: механічна інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: ОНП Матеріалознавство

Дата захисту: 09-09-2025

Спеціальність за освітою: Металургія

Місце роботи здобувача: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 4

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 81.09

Тема дисертації:

1. Відновлення структури і властивостей тривало експлуатованої сталі 12Х1МФ парогону ТЕС за модифікованим режимом термічного оброблення

2. Restoration of the structure and properties of long-term operated 12Kh1MF steel of a thermal power plant steam pipe using a modified heat treatment

Реферат:

1. У дисертаційній роботі проаналізовано особливості зміни технічного стану теплотривкої сталі 12Х1МФ після тривалої (~2,86·105 год) високотемпературної (545оС за тиску пари 14 МПа) експлуатації у гині головного парогону ТЕС. Виявлено, що характеристика міцності сталі усіх зон гину (розтягненої, нейтральної та стисненої) та на всіх рівнях по товщині стінки труби (біля зовнішньої та внутрішньої її поверхонь, і в центрі перерізу труби) були нижчі за регламентовані. Найбільшу пошкодженість структури та втрату пластичності виявлено у розтягненій зоні біля зовнішньої поверхні труби. Фрактографічно виявили декогезію карбідів і формування крихких зламів. Запропоновано режим відновлювального термічного оброблення (дві нормалізації: 1100□°С, 150 хв + 960□°С, 30 хв, відпуск 740□°С, 180 хв), який забезпечив гомогенізацію структури,

зменшення розміру зерен і перерозподіл карбідів. Після оброблення твердість зросла з 120 до 170□HB, ударна в'язкість – удвічі, а пластичність у зоні найбільшої деградації – на 60%. На зламах зразків після оброблення переважав в'язкий ямковий рельєф з дрібними карбідами. Режим виявився ефективним для підвищення міцності та пластичності сталі по всій товщині стінки труби. Окрему увагу приділено впливу наводнювання, яке є неминучим під час тривалої експлуатації. Навіть після наводнювання зразків, механічні характеристики відновленої сталі залишалися вищими, ніж в експлуатованій: пластичність підвищилася на 39–41%, міцність – на 9–16%. В експлуатованій сталі водень накопичувався вздовж меж зерен, у відновленій – всередині них, що знижувало її схильність до крихкого руйнування. Це свідчить про покращення стійкості до водневого окрихчення після оброблення. Дефекти, не усунуті повністю, втратили зв'язок з границями зерен, перемістившись у їх об'єм, що також сприяло зниженню ризику крізьзеренних руйнувань. Отже, покращення структури і основних функціонально важливих властивостей відновленої сталі 12Х1МФ та часткове нівелювання негативних наслідків її наводнювання дають підстави вважати, що термін служби елементів парогонів ТЕС можна продовжити за рахунок впровадження у практику їхньої експлуатації запропонованого режиму відновлювального термічного оброблення.

2. The dissertation analyses the features of the changes in the technical state of heat-resistant 12Kh1MF steel after long-term (~2,86·105 hours) high-temperature operation (545°C at a steam pressure of 14 MPa) in the bend of the main steam pipeline of a thermal power plant. It was revealed that the strength characteristics of the steel in all bending zones (stretched, neutral and compressed) and at all levels along the pipe wall thickness (near its outer and inner surfaces and in the center of the pipe cross-section) were below the regulated values. The most severe deterioration occurred in the stretched zone near the outer surface, where ductility and fracture resistance dropped below normative values. Fractography revealed carbide decohesion and brittle fracture morphology. A restorative heat treatment mode was proposed (double normalisation: 1100□°C, 150 min + 960□°C, 30 min; tempering at 740□°C, 180 min). It provided grain refinement, carbide redistribution, and matrix homogenization. After treatment, hardness increased from 120 to 170□HB, impact toughness doubled, and ductility improved by 60% in the most degraded area. Fracture surfaces showed ductile dimples with carbides, confirming structural recovery. Special attention was paid to hydrogenation, which is inevitable during long-term steam service and leads to hydrogen embrittlement. Even after hydrogen charging, the restored steel retained better properties than the operated one: ductility was 39–41% higher, and strength 9–16% higher. In the operated steel, hydrogen accumulated at grain boundaries; in the restored one, it concentrated inside grains, reducing susceptibility to intergranular fracture. Fractographic analysis confirmed that the remaining damage in the restored steel shifted from grain boundaries into grains, weakening their role as crack initiation sites. This structural transformation improved resistance to hydrogen-assisted cracking. Thus, the improvement of the structure and the main functionally important properties of the restored 12Kh1MF steel, as well as the partial reduction of the negative consequences of its hydrogenation, give reason to believe that the service life of the elements of TPP steam pipelines can be extended by adapting the proposed mode of restorative heat treatment to the practice of their operation.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Енергетика та енергоефективність

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- 1. Tsybailo I. O. Substantiation of modes of restorative heat treatment of heat-resistant steel of TPP steam pipeline bend. Materials Science. 2024. Vol. 60, No. 2. P. 103–107. DOI: 10.1007/s11003-025-00874-2 (Scopus, WoS, Q3).

- 2. Tsybailo I. O., Krechkovska H. V. The structural-mechanical state of 12Kh1MF steel of TPP pipeline bend after long-term operation. Materials Science. 2023. Vol. 59, No. 3. P. 320–327. DOI: 10.1007/s11003-024-00780-z (Scopus, WoS, Q3).
- 3. Krechkovska H., Tsybailo I., Dzioba I., Student O., Pała R. Restoration of properties of heat-resistant steel after long-term operation in steam pipeline bends of TPP by heat treatment. Metals. 2025. Vol. 15, No. 1. Article 21. DOI: 10.3390/met15010021 (Scopus, WoS, Q2).
- 4. Tsybailo I., Krechkovska H., Student O., Svirska L. Structural aspects of the degradation of the bend stretched zone. Procedia Structural Integrity. 2024. Vol. 59. P. 307–317. DOI: 10.1016/j.prostr.2024.04.044 (Scopus).
- 5. Tsybailo I. O., Svirska L. M., Solovei P. R., Krechkovska S. R., Datsko B. M., Student O. Z. Use of electrolytic hydrogenation to visualize the damage of long-term operated heat-resistant steel of TPP steam pipelines. Materials Science. 2023. Vol. 58, No. 5. P. 602–608. DOI: 10.1007/s11003-023-00705-2 (Scopus, WoS, Q3).
- 6. Vorobel R., Student O., Ivasenko I., Maruschak P., Krechkovska H., Zvirko O., Berehulyak O., Mandziy T., Tsybailo I., Solovei P. Development of a method for computer processing of fractographic images to assess the cohesion of inclusions to the matrix in the weld metal after its operational degradation and hydrogenation. Materialia. 2024. Article No. 102074. DOI: 10.1016/j.mtla.2024.102074 (Scopus, WoS, Q2).
- 7. Krechkovska H., Student O., Zvirko O., Hredil M., Svirska L., Tsybailo I., Solovei P. Substantiation of the critical structural and mechanical state of low-alloy heat-resistant steel from steam pipelines of thermal power plant. Engineering Failure Analysis. 2023. Vol. 50. Article No. 107359. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107359 (Scopus, WoS, Q1).
- 8. Krechkovska H., Student O., Hredil M., Tsybailo I., Holovchuk M., Shtoyko I. Visualization of fractographic signs of operational degradation of heat-resistant steel for estimating its actual structure-mechanical state. Procedia Structural Integrity. 2022. Vol. 42. P. 1398–1405. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.12.178 (Scopus, WoS).
- Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації 9. Krechkovska H., Tsybailo I., Student O., Svirska L., Korniy S. Restoration of steel properties after long-term operation at bends of TPP steam pipelines by heat treatment. Book of Abstracts. 24th European Conference on Fracture, ECF24, August 26–30, 2024, Zagreb, Croatia. 2024. P. 405.
- 10. Krechkovska H., Tsybailo I., Student O. Sensitivity to hydrogenation of steel used in the bend of a TPP steam pipeline and after its restorative heat treatment. Proceedings of the 12th Annual Conference of Society for Structural Integrity and Life (DIVK12), November 17–19, 2024, Belgrade, Serbia. P. 172.
- 11. Krechkovska H., Student O., Hredil M., Tsybailo I., Holovchuk M., Shtoyko I. Visualization of fractographic signs of operational degradation of heat-resistant steel for estimating its actual structure-mechanical state. Book of Abstracts. European Conference on Fracture (ECF23), 27 June – 02 July 2022, Madeira. 2022. P. 449.
- 12. Tsybailo I. O., Kurylas M. S., Zvirko O. I., Krechkovska H. V. Hydrogen influence on microstructure and properties of structural steel under operation. Тези доповідей III Всеукраїнської конференції молодих учених «Сучасне матеріалознавство. Матеріали та технології, СММТ-2021», 2021, Київ, Україна. P. 36.
- 13. Tsybailo I., Svirska L., Solovei P., Krechkovska H., Datsko B., Student O. Influence of electrolytic hydrogenation on the structural and mechanical state of heat-resistant steels. Book of Abstracts. XVI International Conference “Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials” (Corrosion-2022), 15–16 November 2022, Lviv, Ukraine. P. 34.
- 14. Студент О. З., Кречковська Г. В., Свірська Л. М., Цибайло І. О., Соловей П. Р., Кречковська С. Р. Прогнозування роботоздатності теплотривкої сталі після тривалої експлуатації на головному парогоні ТЕС. Збірник абстрактів IX Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування, ТЕРММ-2023», 30 травня – 01 червня 2023, Луцьк, Україна. С. 61–62.
- 15. Krechkovska H., Shtoyko I., Tsybailo I., Solovey P., Krechkovska S. Sensitivity of characteristics of heat-resistant steel to operational degradation. Тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем, КЗЯТПС–2022», 26–27

травня 2022 р., Чернігів, Україна. Т. 2. Р. 32.

- 16. Krechkovska H., Student O., Tsybailo I. Visualization of damage to heat-resistant steel after long-term operation on the main steam pipeline for fractographic signs of its destruction. Abstracts of the 8th International Materials Science Conference, HighMatTech-2023, October 2–6, 2023, Kyiv, Ukraine. P. 124.

Наукова (науково-технічна) продукція: режим відновлювального термічного оброблення

Соціально-економічна спрямованість: результати дослідження спрямовані на відновлення структури та властивостей теплотривкої сталі 12х1мф після тривалої експлуатації на гині головного парогону тес. запропонований модифікований режим термічного оброблення дозволяє подовжити ресурс критично деградованих елементів парогонів тес без необхідності їхньої заміни. це дозволить значно знизити витрати на заміну або ремонт критичних елементів парогонів, зменшити простої енергетичних об'єктів, покращити ефективність виробництва електроенергії та підвищити економічну стабільність енергетичного сектору країни.

Охоронні документи на ОПІВ:

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки
0121U108961, 0124U000911

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U108961, 0124U000911

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кречковська Галина Василівна

2. Halyna V. Krechkovska

Кваліфікація: д. т. н., с.д., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7392-7753

Додаткова інформація: Scopus ID: 56638520900 Web of Science ResearcherID: O-6558-2019 https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=Uwy0NTMAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лаухін Дмитро Вячеславович

2. Dmytro V. Laukhin

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

Додаткова інформація: Scopus ID: 8257443500 Web of Science ResearcherID : FKB-2416-2022 https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=HVzdT0sAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070743

Місцезнаходження: проспект Дмитра Яворницького, буд. 19, Дніпро, Дніпровський р-н., 49005, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Зайчук Наталія Петрівна

2. Natalija P. Zaychuk

Кваліфікація: к.т.н., доцент, 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6258-4820

Додаткова інформація: Scopus ID: 57209242947 Web of Science ResearcherID: AAB-3013-2021 https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=eeFR56YAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Луцький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 05477296

Місцезнаходження: вул. Львівська, буд. 75, Луцьк, Луцький р-н., 43018, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Василів Христина Броніславівна

2. Chrystyna B. Vasyliv

Кваліфікація: к.т.н., доцент, 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5334-7476

Додаткова інформація: Scopus ID: 6507084483 Web of Science ResearcherID: GSA-3482-2022

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сиротюк Андрій Михайлович
2. Andriy M. Syrotyuk

Кваліфікація: д. т. н., с.н.с., 01.02.04

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9558-0153

Додаткова інформація: Scopus ID: 56446930700 Web of Science ResearcherID: L-4891-2018 https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=HHkhSpMAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Дмитрах Ігор Миколайович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Дмитрах Ігор Миколайович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Корній Валентина Василівна
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна