

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації **Подольської Олени Анатоліївни** за темою «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доевтектоїдної сталі на надійність залізничних осей», поданої на здобуття ступеня **доктора філософії** в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство»

Дисертаційна робота Подольської Олени Анатоліївни за темою «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доевтектоїдної сталі на надійність залізничних осей» виконана у відділі проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України та подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство». Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (протокол № 7 від 3 листопада 2022 року) та скоригована на засіданні вченої ради Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (протокол № 1 від 9 лютого 2026 року).

Ступінь актуальності теми дисертації та її зв'язок з планами наукових робіт

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – підвищенню надійності та довговічності залізничних осей шляхом встановлення закономірностей формування структурної неоднорідності в осевих ферито-перлітних сталях в залежності від хімічного складу та під впливом гарячої пластичної деформації.

Актуальність дослідження обумовлена тим, що залізничні осі є критичними елементами рухомого складу, які сприймають значні циклічні навантаження та визначають безпеку руху поїздів. Особливого значення ця проблема набуває в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення України, коли залізничний транспорт виконує не лише традиційні логістичні функції, а й стає основою для евакуації населення, доставки гуманітарних вантажів, перевезення військової техніки та боєприпасів, а також забезпечення критичного імпорту палива, продовольства та обладнання. Відмова навіть одного з елементів ходової частини в умовах інтенсивної експлуатації може призвести до катастрофічних наслідків, що робить забезпечення надійності залізничних осей питанням національної безпеки.

В умовах сучасної України виробництво осей зазнало суттєвих трансформацій: через технологічні обмеження та руйнування ключових металургійних підприємств внаслідок війни, відбувся перехід на альтернативні джерела постачання заготовок, зокрема від ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Це зумовило низку науково-технічних проблем, пов'язаних із невідповідністю

технологічних схем виробництва сучасним вимогам, недостатньою деформаційною проробкою структури через обмежений ступінь укову, а також формуванням небажаних структурних складових (відманштеттового фериту, ліквацийних ділянок), які знижують втомну довговічність та експлуатаційну надійність осей.

Особливої важливості проблемі надає необхідність інтеграції українського виробництва до міжнародних ринків, що вимагає відповідності продукції жорстким стандартам EN 13261 (ЄС) та AAR M-101 (США). Водночас, як свідчить аналіз нормативних документів та наукової літератури, питання спільного впливу вмісту марганцю, кремнію та їх співвідношення на формування структурної неоднорідності під час кристалізації, її успадкування після гарячої деформації та впливу на механічні властивості залишаються недостатньо дослідженими. Це створює наукову основу для системного вивчення взаємозв'язку між хімічним складом, параметрами деформації, структурним станом і експлуатаційними характеристиками осевих сталей.

Таким чином, вирішення зазначених проблем шляхом встановлення закономірностей формування структурної неоднорідності та розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо вдосконалення хімічного складу й технології виробництва є своєчасним і має важливе наукове та практичне значення для підвищення надійності та конкурентоспроможності вітчизняних залізничних осей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку Інституту чорної металургії імені З.І. Некрасова Національної академії наук України «Розвиток наукових основ формування залізвуглецевих сплавів і управління їх структурою і властивостями». В рамках держбюджетних НДР Національної академії наук України, при виконанні яких здобувачка була виконавцем: «Дослідження особливостей формування хімічної неоднорідності в вуглецевих сталях (0,4 – 0,6 % ваг. С) і її спадкового впливу на мікроструктуру та механічні властивості металопродукції залізничного призначення» №ДР 0120U101186 (2020-2022 рр.), «Наукове обґрунтування та розробка технологічних параметрів термічної обробки залізничних коліс, які забезпечують рівномірну структуру по перерізу обода» №ДР 0120U101181 (2020-2021 рр.), Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс») «Розробка хімічного складу сталі та технологічних параметрів деформаційної та термічної обробки залізничних коліс, що забезпечують підвищення їх ресурсу в різних умовах експлуатації» №ДР 0120U102688 (2020 р.), №ДР 0119U101398 (2019 р.), «Вдосконалення технології виробництва залізничних осей для підвищення їх надійності та довговічності» № ДР 0121U110392 (2021 р.), Цільової програми наукових досліджень НАН України «Науково-дослідні роботи молодих учених НАН

України 2023-2024рр.» «Дослідження впливу хімічної та структурної неоднорідності вуглецевих сталей на надійність великогабаритного металопрокату залізничного призначення» №ДР 0123U102990 (2023-2024 рр).

1. Вперше встановлено, що співвідношення Mn/Si та вмісту вуглецю в осьових ферито-перлітних сталях суттєво впливають на умови кристалізації та характер формування структурної неоднорідності.

Встановлено, що збільшення співвідношення Mn/Si до 5 та зниження вмісту вуглецю від 0,45 до 0,36 % розширюють температурний інтервал існування δ -фази під час кристалізації та збільшують кількість цієї фази до 30 %, що призводить до посилення ліквідаційних процесів.

Використання встановлених закономірностей дозволяє на етапі проєктування хімічного складу прогнозувати схильність сталі до структурної неоднорідності.

2. Вперше для ферито-перлітних осьових сталей із вмістом C = 0,36–0,59 % мас., Mn = 0,56–0,95 % мас., Si = 0,12–0,44 % мас. встановлено зв'язок між параметром Mn/Si та фазовим складом сталі.

Показано, що зі збільшенням співвідношення Mn/Si зростає інтенсивність дифракційних максимумів фаз FeMn_4 , Fe_2Si та FeSi за даними рентгенофазового аналізу, що свідчить про вплив ліквідаційних процесів під час кристалізації на перерозподіл легуючих елементів (Mn, Si) та формування кінцевого фазового складу і структурної неоднорідності металу.

Використання встановленого зв'язку може бути використане для обґрунтованого вибору хімічного складу для забезпечення необхідної структурної однорідності готових виробів.

3. Вперше для ферито-перлітних осьових сталей із вмістом C = 0,36–0,59 % мас., Mn = 0,56–1,08 % мас., Si = 0,12–0,44 % мас. систематизовано морфологічні прояви формування структурної неоднорідності залежно від хімічного складу та співвідношення Mn/Si.

Показано, що при вмісті вуглецю 0,36–0,46 % переважають дендритоподібні та направлені феритні виділення (відманштеттового типу та кристалографічно орієнтовані), тоді як при 0,56–0,59 % формується більш однорідна ферито-перлітна структура з окремими світлими ліквідаційними ділянками в перліті, а найменша структурна неоднорідність спостерігається при вмісті вуглецю близько 0,5 %. Диференційовано роль легуючих елементів: встановлено, що кремній відповідає за утворення ненаправлених феритних виділень, а марганець – за виникнення ліквідаційних зон зі зниженою травимістю та розвиток направлених структур типу відманштеттового фериту. Встановлено, що важливим фактором є не абсолютний вміст Mn або Si, а їх співвідношення Mn/Si, яке визначає особливості ферито-перлітної структури після деформації та нормалізації.

Отримані результати розширюють уявлення про механізми формування структурного стану сталей ферито-перлітного класу та підтверджують доцільність використання параметра Mn/Si як критерія керування структуроутворенням в осьових сталях.

4. Вперше встановлено кількісний зв'язок між структурною неоднорідністю металу та втомною довговічністю залізничних осей із ферито- перлітної сталі марки F (C $\approx$ 0,5 % мас.).

Показано, що присутність у структурі ділянок нерівномірного розподілу фериту (структурна неоднорідність) площею до 43 % призводить до зниження втомної довговічності (кількості циклів до руйнування) до 300 тис. циклів для осьової сталі марки F. Встановлено кількісну залежність: збільшення площі ділянок структурної неоднорідності на 1 % викликає зниження втомної довговічності приблизно на 42 500 циклів за напруження 286-295 МПа. Отримана залежність ($N = -42\,465 \cdot S + 2\,050\,400$, де N – кількість циклів до руйнування, од., S – площа ділянок на мікрошліфі зі структурною неоднорідністю, %) має високий коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,93$) свідчить, що отримана модель добре описує наявні дані.

Отримана залежність дозволяє кількісно оцінити вплив локальної структурної неоднорідності, успадкованої від процесів кристалізації та гарячої пластичної деформації на експлуатаційний ресурс виробів.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Встановлені закономірності впливу хімічного складу, співвідношення Mn/Si та параметрів деформаційної обробки дозволяють прогнозувати схильність осьової сталі до формування структурної неоднорідності ще на етапі проектування технології виробництва та коригувати технологічні режими до виготовлення готової продукції.

2. Розроблені рекомендації щодо вибору хімічного складу, співвідношення Mn/Si та параметрів гарячої пластичної деформації спрямовані на підвищення структурної однорідності металу, збільшення ресурсу роботи осей і зниження ризику їх передчасного втомного руйнування в експлуатації. Практичне використання результатів підтверджено актом впровадження ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ».

3. Використання розроблених рекомендацій забезпечує зниження ймовірності утворення ліквацийних ділянок, відманштеттового фериту та інших концентраторів напружень, які є осередками зародження втомних тріщин. Це сприяє підвищенню експлуатаційної надійності залізничних осей та зменшенню ризику їх передчасного руйнування під час експлуатації.

4. Результати роботи можуть бути використані підприємствами, що виробляють осьові сталі та залізничні осі, для вдосконалення технології виробництва продукції відповідно до вимог ДСТУ EN 13261, ДСТУ ГОСТ 31334 та ААР М-101, підвищення стабільності механічних властивостей по перерізу осі та зниження втрат від браку і відхилень за результатами неруйнівного контролю.

5. Методичні напрацювання, отримані під час виконання дисертаційної роботи, увійшли до методичного посібника «Застосування спеціалізованого програмного забезпечення в матеріалознавстві та термічній обробці металів та сплавів: методичний посібник», призначеного для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія».

Особистий внесок здобувача.

Основні результати роботи отримані здобувачем самостійно. При проведенні досліджень, результати яких опубліковані в співавторстві, автору належать постановка проблеми, мети і завдання досліджень, пояснення зв'язку хімічний склад-структура-властивості механічні властивості [5, 15-17, 23-24, 25], проведення механічних випробувань [5, 18, 23-27], проведення металографічних досліджень [5, 12, 14, 20, 22-27], підготовка даних для математичного моделювання і обробка отриманих даних [23-27], аналіз літературних даних [1-5, 7, 9-10, 16-17, 23-27], постановка мети і задач дослідження, аналіз та узагальнення даних літератури [5-8, 10-11, 13, 19, 21, 23-27].

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація написана діловою українською мовою з дотриманням стилю викладення результатів проведених досліджень відповідно до встановлених вимог.

Наукові публікації, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, та повнота опублікування результатів дисертації

За темою дисертації було опубліковано : 4 статті в наукометричній базі Scopus, 1 стаття категорії А, 11 статей категорії Б, 9 тез, 1 методичний посібник, 1 авторське свідоцтво:

Статті у виданнях, які індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science:

1. Babachenko O. I., D'omina K. H., Kononenko H. A., Dement'yeva Zh. A., Podol's'kyu R. V., **Safronova O. A.** Influence of Cooling Rate at Hardening of Continuous Casting Blank on Parameters of Dendritic Structure of Carbon Steel with 0.54% C. Metallofiz. Noveishie Tekhnol. – 2021. - No. 11. –P. 1537—1551 (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.43.11.1537

2. Babachenko O.I., Kononenko H.A., Podolskyi R.V., **Safronova O.A.**, Taranenko A.O. Structure and Fracture Resistance of Steels in Different Zones of Railway Axles// Materials Science. – 2022. Vol. 58, Is. 3, P. 417 – 421. DOI: 10.1007/s11003-023-00679-1

3. Бабаченко О.І., Балаханова Т.В., **Сафронова О.А.**, Дементьева Ж.А. Особливості виявлення первинної структури вуглецевих криць для виробництва залізничних осей. Metallofizika i Novejsie Tehnologii. – 2023. – Т. 45. Вип.2. С.275-292. DOI: 10.15407/mfint.45.02.0275

4. Babachenko, O.I., Balakhanova, T.V., **Safronova, O.A.**, Podolskyi, R.V. Specific features of the formation of structural heterogeneity in carbon steel depending on manufacturing technique. Science and Innovation. – 2023.- 19(4), P. 47–56. DOI: 10.15407/scine19.04.047

Статті у періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України:

5. Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., **Сафронова О.А.**, Тараненко А.О. Структура та опір руйнуванню сталей у різних зонах залізничних осей. Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2022. – Т. 58, №3. – С.124-129. ISSN: 0430-6252(print)

6. Бабаченко О.І., Дьоміна К.Г., Кононенко Г.А., **Сафронова О.А.** Аналіз існуючих способів підвищення якості металопродукції залізничного призначення. Метал та лиття України. – 2020. – №4. - С.84-94. DOI: 10.15407/steelcast2020.04.084

7. Бабаченко О.І., Подольський Р.В., Дьоміна К.Г., Кононенко Г.А., **Сафронова О.А.** Фізичне і математичне моделювання гарячої пластичної деформації лабораторних злитків сталей для осей. “Сучасні проблеми металургії”. – 2021. - № 24. - С. 12-20. DOI: 10.34185/1991-7848.2021.01.02

8. Бабаченко О.І., Балаханова Т.В., **Сафронова О.А.**, Кононенко Г.А., Дьоміна К.Г. Вплив методів гарячого деформування на пророблюваність металу за перерізом під час виробництва осьових заготовок. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2021. - №5(95). - С. 60-70. DOI: [10.15802/stp2021/252041](https://doi.org/10.15802/stp2021/252041)

9. Філоненко Н.Ю., Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., **Сафронова О.А.** Вплив швидкості охолодження та перегріву вище лінії ліквідусу на формування структурних складових. Металознавство та обробка металів. - 2022.- №28(2).- С. 3-11. DOI: 10.15407/mom2022.02.003

10. Бабаченко О. І., Балаханова Т. В., **Сафронова О.А.**, Шпак О. А., Клинова О. П Аналіз особливостей формування структурної неоднорідності вуглецевої сталі (огляд літератури). Металознавство та термічна обробка металів. – 2021. - №4(95).- С. 18-32. DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.281221.18.821

11. Бабаченко О. І., Балаханова Т. В., **Сафронова О.А.**, Кононенко Г. А., Дьоміна К. Г. Вплив методів гарячого деформування на пророблюваність металу за перерізом під час виробництва осьових заготовок. Наука та прогрес транспорту. -2021.- С. 60-70. DOI: [10.15802/stp2021/252041](https://doi.org/10.15802/stp2021/252041)

12. Бабаченко О.І., Балаханова Т.В., **Сафронова О.А.**, Кононенко Г.А. Дослідження впливу співвідношення вмісту Si/Mn на дендритну структуру сталей для залізничних осей. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. - №1. – с. 6-12. DOI: 10.15588/1607-6885-2022-1-1

13. Бабаченко О. І., Балаханова Т. В., Кононенко Г. А., **Сафронова О. А.**, Дементьєва Ж. А. Формування макроструктури залежно від вмісту та

співвідношення основних компонентів у зливках сталі залізничного призначення. Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії. -2022. -Вип. 36. - С. 343-361 DOI: [10.52150/2522-9117-2022-36-343-361](https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-343-361)

14. Балаханова Т.В., Кононенко Г.А., **Сафронова О.А.**, Сафронов О.Л., Клинова О.П. Дослідження трансформації мікроструктури осьових заготовок після прокатування. Системні технології. 2023.- Т. 3, № 146.- С. 46-52. DOI: [10.34185/1562-9945-3-146-2023-05](https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-146-2023-05)

15. Бабаченко О.І., Кононенко Г. А., Балаханова Т.В., **Сафронова О.А.**, Дементьєва Ж.А. Дослідження впливу хімічного складу сталей для залізничних осей на рівномірність кінцевої мікроструктури. Український журнал будівництва та архітектури. -2024. -№4 (022). - С. 8-14. DOI: [10.30838/J.BPSACEA.2312.300824.08.1069](https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.300824.08.1069)

16. Поворотня І.Р., **Сафронова О.А.**, Подольський Р.В., Олійник Е.В. Вплив хімічного складу на фазову структуру і твердість вуглецевої сталі для залізничних осей після деформації та термічної обробки. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. - 2024. - Вип. 38. - С. 656-671. DOI: [10.52150/2522-9117-2024-38-656-671](https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-656-671)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

17. **Safronova O.**, Podolskyi R., Domina K. Hereditary influence of the initial structural state on the quality of rail axes. The 19 International students scientific conference "Engineer of the Third Millennium" (14 травня 2020, Дніпро). С. 32–33.

18. Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Дьоміна К. Г., Подольський Р.В., **Сафронова О.А.** Дослідження гарячої пластичної деформації лабораторних осьових плавок. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (16-18 березня 2021, Дніпро). С. 12-16. DOI: [10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.002](https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.002)

19. Бабаченко О.І., Дьоміна К.Г., Кононенко Г.А., Дементьєва Ж.А., **Сафронова О.А.**, Подольський Р.В. Вплив швидкості охолодження при затвердінні безперервнолитої заготовки на особливості дендритної структури вуглецевої сталі марки EA1N. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції "Нові матеріали і технології в машинобудуванні" (28-29 квітня 2021, Дніпро). С. 26-27.

20. Бабаченко О.І., Дьоміна К.Г., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., **Сафронова О.А.** Вплив швидкості охолодження при затвердінні безперервно-литої заготовки на характеристики дендритної структури вуглецевої сталі марки ОС. Міжнародна конференція «Університетська наука - 2021» (19-20 травня 2021, Маріуполь). С. 70-71.

21. О.І. Бабаченко, Г.А. Кононенко, **О.А. Сафронова**, О.П. Клинова Порівняльні дослідження втомної довговічності по перерізу залізничних вісей різної якості/ Всеукраїнська науково-технічна конференція «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ»(24 червня 2021, Дніпро). С. 30-31.

22. Балаханова Т.В., Кононенко Г.А., **Сафронова О.А.**, Шпак О.А., Дементьєва Ж.А. Особливості мікроструктури осьових заготовок після прокатування. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (22 березня 2023, Дніпро). С.12-14. DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.003

23. Поворотня І.Р., Подольський Р.В., **Сафронова О.А.**, Олійник Е.В. Методологічний підхід до визначення ефективного компонентного складу вуглецевих сталей відповідального призначення. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (10 квітня 2024, Дніпро). С. 148-151. DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.025

24. Povorotnia I. R., **Safronova O. A.**, Podolskyi R. V., Oliinyk E. V. Influence of chemical composition on the structure and hardness of railway axle steel. All-Ukrainian scientific and technical conference «SCIENCE AND METALLURGY», (19 – 20 November 2024, Dnipro). P. 44. DOI: 10.52150/2522-9117-2024-conferens

25. Romanova N.S., **Safronova E.A.**, Demina Yu.O. Fatigue equation for grade F railway axles. The 5th International scientific and practical conference “Science and education: problems, prospects and innovations” (February 4-6, 2021 Kyoto Japan). P. 21-27.

Методичний посібник:

26. Подольський Р.В., Бабаченко О.І., Кононенко Г.А. Романова Н.С., **Сафронова О.А.**, Клемешов Е.С. Застосування спеціалізованого програмного забезпечення в матеріалознавстві та термічній обробці металів та сплавів: методичний посібник. Дніпро: Україн. держ. ун-т науки і технол. 2022. 66 с.

Свідчення про реєстрацію авторського права:

27. Подольський Р. В., Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Романова Н. С., **Сафронова О.А.**, Клемешов Є.С. Методичний посібник «Застосування спеціалізованого програмного забезпечення в матеріалознавстві та термічній обробці металів та сплавів». АС № 116091 Україна. Заявл. № с202205338 08.12.2022. Регистр. 24.01.2023. Бюл. 74.

Апробація результатів роботи. Матеріали роботи були повідомлені на конференціях: The 19 International students scientific conference "Engineer of the Third Millennium"(14 травня 2020 р., м. Дніпро), The 5th International scientific and practical conference “Science and education: problems, prospects and innovations” (Kyoto, Japan, February 4-6, 2021), Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (16–18 березня 2021, м. Дніпро), Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції "Нові матеріали і технології в машинобудуванні" (28-29 квітня 2021 р., м. Дніпро), Міжнародна конференція «Університетська наука - 2021» (19-20 травня, 2021 р., м. Дніпро), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Наука і металургія»

(24 червня 2021 р., м. Дніпро), Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ІТММ'2023 (22 березня 2023 р., м. Дніпро), Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (10 квітня 2024, Дніпро), «Science and metallurgy», (19 – 20 November 2024, Dnipro).

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертації, забезпечені використанням сучасних методів досліджень, обчислювальної техніки й програмного забезпечення, акредитованого випробувального устаткування, статистично значимою кількістю лабораторних та промислових зразків, відповідністю аналітичних та експериментальних досліджень, впровадженням промислових технологій виробництва, обґрунтуванням результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням та отриманим практичним досягненням.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертаційній роботі, забезпечені використанням комплексної методики досліджень, що включає металографічний аналіз із застосуванням світлової та електронної мікроскопії, рентгенофазовий аналіз, вимірювання твердості та мікротвердості за стандартними методиками, а також дослідження втомної міцності та довговічності згідно з чинними нормативними документами.

Експериментальні дослідження виконано на сучасному акредитованому випробувальному обладнанні, зокрема на оптичному мікроскопі «Axiovert 200 M MAT», растрових електронних мікроскопах РЭМ-106 та COXEM EM-40, твердомірах ТБ 5004 та LHV5-1000Z, а також випробувальній машині УБМ для втомних випробувань. Робота виконана на достатній кількості лабораторних та промислових зразків, що забезпечує статистичну значущість отриманих результатів. Для обробки та аналізу експериментальних даних використовувалося сучасне програмне забезпечення (ImageJ, QForm, Thermo-Calc та ін.), що дозволяє підвищити точність кількісних оцінок і моделювання процесів структуро- та формоутворення. Достовірність результатів також підтверджується поєднанням фізичного моделювання гарячої пластичної деформації лабораторних злитків із математичним моделюванням у програмі QForm, що забезпечує коректність оцінки напружено-деформованого стану матеріалу. Отримані експериментальні результати не суперечать загальноприйнятим теоретичним положенням фізичного матеріалознавства, зокрема щодо впливу хімічного складу та співвідношення Mn/Si на формування структурної неоднорідності ферито-перлітних сталей, та узгоджуються з даними промислових випробувань і нормативними вимогами стандартів EN 13261, ДСТУ 31334 та ААР М-101. Значущість отриманих

практичних результатів підтверджено впровадженням розроблених рекомендацій у виробничих умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП ІНТЗ», що засвідчено відповідним актом впровадження. Таким чином, сукупність використаних методів, обсяг експериментальних даних, коректність їх обробки та збіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень забезпечують високий рівень обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і практичних рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Ознайомившись з дисертаційною роботою Подольської Олени Анатоліївни на тему: «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доевтектоїдної сталі на надійність залізничних осей» за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство» (G8) та науковими публікаціями, у яких висвітлено основні наукові результати, а також враховуючи результати апробації дисертаційної роботи, вважаємо, що:

1. Дисертаційна робота: «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доевтектоїдної сталі на надійність залізничних осей» за актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та практичною значимістю є закінченим фундаментальним дослідженням, яке відповідає ОНП «Матеріалознавство та обробка металів».

2. Дисертаційна робота: «Закономірності впливу структурної неоднорідності та гарячої пластичної деформації доевтектоїдної сталі на надійність залізничних осей» відповідає 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 січня 2022р. № 44 і рекомендується до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Головуючий семінару:
чл.-кор. НАН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник



Олександр БАБАЧЕНКО

Секретар семінару:
Кандидат технічних наук,
Старший дослідник



Тетяна БАЛАХАНОВА

Підписи Бабаченка О.І. та Балаханової Т.В. засвідчую:

Учений секретар
Інституту чорної металургії
ім. З. І. Некрасова НАН України,
кандидат технічних наук



Лариса ГАРМАШ