

Затверджую:

Ректор Українського державного
університету науки і технологій

член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор



Костянтин СУХИЙ

2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи Філоненко Наталії Юріївни «Розвиток науково-технічних положень про вплив термодинамічних факторів на структуру та механічні властивості сплавів на основі алюмінію та заліза» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

Рецензенти: д.т.н., доцент, доцент кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів, декан факультету інформаційних технологій та механічної інженерії ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій **Бекетов Олександр Вадимович**, д.т.н., професор, професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» **Лаухін Дмитро В'ячеславович**, д.т.н., професор, професор кафедри матеріалознавства та термічної обробки металів ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій **Узлов Костянтин Іванович**, призначені згідно з рішенням Вченої ради Українського державного університету науки і технологій (протокол № 11 від 23 квітня 2025 р.), розглянувши дисертацію Філоненко Наталії Юріївни «Розвиток науково-технічних положень про вплив термодинамічних факторів на структуру та механічні властивості сплавів на основі алюмінію та заліза» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство, наукові публікації, в яких висвітлені основні наукові результати докторської дисертації, а також за результатами фахового семінару кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій (протокол № 10 від 07 травня 2025 р.) підготували **висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації:**

1. Дисертація Філоненко Наталії Юріївни «Розвиток науково-технічних положень про вплив термодинамічних факторів на структуру та механічні властивості сплавів на основі алюмінію та заліза» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка відповідає чинним нормативним вимогам щодо докторської дисертації за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Рішенням Вченої ради ПДАБА від 28 вересня 2022 р., протокол № 72КС Філоненко Наталія Юріївна була зарахована до докторантури за спеціальністю 132 Матеріалознавство, були затверджені; тема докторської дисертації «Розвиток наукових і технологічних основ збільшення однорідності розплавів для підвищення механічних і експлуатаційних властивостей сталей та сплавів» і науковий консультант д.т.н., проф. Волчук Володимир Миколайович, завідувач кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів, затверджені.

Згідно з наказом Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (УДУНТ) № 134 від 16 лютого 2024 р. затверджене уточнення теми дисертаційної роботи: «Розвиток науково-технічних положень про вплив термодинамічних факторів на структуру та механічні властивості сплавів на основі алюмінію та заліза». Була відрахована із докторантури у зв'язку з завершенням строку навчання з 30.09.2024, згідно наказу УДУНТ №284К від 30.09.2024.

2. Актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Актуальність і практична значимість роботи полягають в тому, щоб отримувати сплави та сталі з прогнозованими механічними та службовими характеристиками шляхом керування фазовим складом металевих сплавів. Для отримання металевих сплавів із заданими структурними та фізичними характеристиками потрібно застосовувати експериментальні та теоретичні методи.

Як відомо, процеси формування структури металевих сплавів та сталей починаються в розплаві, тому необхідні дослідження впливу зовнішніх чинників на розплав (температура нагріву вище лінії ліквідусу та швидкість охолодження), глибоке розуміння впливу термодинамічних факторів на формування структури сплавів та сталей.

В більшості експериментальних робіт дослідників представлені експериментальні результати дослідження бінарних металевих сплавів, які не є однозначними. Тому визначення раціональної температури нагріву вище лінії ліквідусу сталей та сплавів дозволить впливати на фазовий склад та механічні властивості.

Для теоретичного визначення фазового складу сплавів використовують термодинамічний підхід. Термодинамічні функції фаз дають змогу прогнозувати фізичні та хімічні властивості сплавів за змінних зовнішніх умов, таких як температура, тиск тощо. Тому для розрахунків термодинамічних

функцій та стабільності фаз дослідники використовують досить різні підходи: модель Хіллера – Стеффансона, поліном Редліха – Кістера, програми – ThermoCalc, CALculation of PHase Diagrams (CALPHAD) та інші. Наразі всі відомі методи розрахунку термодинамічних функцій фаз можуть бути використані в рівноважних умовах.

В процесах утворення фаз в сталях та сплавах велику роль відіграє розчинність легуючих та мікролегуючих елементів в фазах. Одним із підходів для прогнозування фазового складу сталей та сплавів є визначення межі розчинності хімічних елементів в структурних складових.

Як відомо, експлуатаційна надійність і довговічність виробів з конструкційних сталей залежить не тільки від рівня їх службових характеристик (твердості, тимчасового опору, границі плинності, пластичних і в'язких характеристик та інші), але і від експлуатаційних показників (зносостійкості, контактної-втомної міцності та ін.). Наразі має важливе значення створення нових більш зносостійких матеріалів для підвищення довговічності різних сталевих виробів, зокрема, сталей залізничного призначення в складних змінних умовах експлуатації. Завдавши термодинамічні фактори кристалізації можна впливати на дисперсність перліту та окремих включень в сталі ще при затвердінні сталі.

Таким чином, розвиток науково-практичних положень про вплив хімічного складу та термодинамічних факторів на формування структурних складових при кристалізації сталей та сплавів, параметрів термічної обробки металовиробів є актуальною проблемою.

Дисертаційну роботу виконано згідно з науковим напрямом Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (ІЧМ НАНУ): «Розвиток наукових основ формування залізобуглецевих сплавів і управління їх структурою і властивостями» в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Національної академії наук України, в яких здобувачка приймала участь в якості виконавця: «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» (№ держреєстрації 0120U101186 (2020–2022 рр.)); «Розробка науково обґрунтованого комплексу технологічних рішень виробництва залізничних рейок нового покоління з підвищеними експлуатаційними властивостями» (№ держреєстрації 0117U004145 (2017–2019 рр.)) та за цільовою програмою наукових досліджень НАН України «Перспективні конструкційні та функціональні матеріали з тривалим терміном експлуатації, фундаментальні основи їх одержання, з'єднання та обробки»: «Розробка науково обґрунтованих технологічних рішень виробництва і ефективного використання високоміцного фасонного прокату в інноваційних будівельних і транспортних конструкціях» (№ держреєстрації 0117U004153 (2017–2021 рр.)).

3. Формулювання наукової проблеми, нове вирішення якої отримано в дисертації:

Сутність науково-практичної проблеми, яка розглядається в роботі, полягає в підвищенні механічних властивостей сплавів та сталей шляхом впливу термодинамічних факторів, визначення раціонального хімічного складу сталей, режимів деформаційного та термічного оброблення на формування структурних складових завдяки розвитку теоретичних та методологічних основ вдосконаленого термодинамічного та квазіхімічного методів, визначенню раціонального хімічного складу сталей, температури кристалізації та термічної обробки для збільшення дисперсності структури. Нові теоретичні результати ґрунтуються на врахуванні флуктуацій в термодинамічних потенціалах для визначення стійкості фаз, теорії розчинності хімічних елементів у структурних складових сталей та сплавів, впливі температури нагріву сплавів та сталей вище лінії ліквідусу та швидкостей охолодження, особливостей дифузії бору та вуглецю при насиченні поверхні сталей.

Практичне значення роботи полягає в отриманні промислових сталей з підвищеними механічними та службовими властивостями.

4. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні впливу хімічного складу, температури нагріву вище лінії ліквідусу та швидкості охолодження, розчинності елементів у фазах, особливостей дифузії на поліпшення комплексу механічних властивостей сплавів та сталей, а саме:

1. Вперше з урахуванням флуктуацій теоретично із застосуванням термодинамічного підходу, запропонованого в даній роботі, на основі рівняння енергії Гіббса отримано лінії термодинамічної стійкості (спінодаль) модельних сплавів Fe–B, Al–Cu, Pb–Sb, Fe–B–C та вуглецевих сталей з вмістом вуглецю 0,35–0,65 % мас. Це дозволяє теоретично прогнозувати фазовий склад, температуру утворення фаз та відрізняється від відомих методів тим, що у ньому враховано флуктуаційні процеси, які притаманні рідкому стану сплавів.

2. Вперше встановлено, що нагріву сплавів Fe–B, Al–Cu, Pb–Sb вище лінії ліквідусу на 150–170 °C та витримки протягом 7–10 хв достатньо для значного зменшення об'ємної частки первинної фази, збільшення дисперсності структури, що, як наслідок, сприяє зменшенню швидкості корозії до 35 % та мікротвердості до 30 %, збільшенню зносостійкості до 45 % сплавів, у порівнянні зі сплавами без такого високого нагріву вище лінії ліквідусу.

3. Вперше встановлена залежність між вмістом бору та вуглецю в насичуючому середовищі при бороцементації та структурою, глибиною, та механічними властивостями поверхневого шару. Показано, що при вмісті карбиду бору 4,0–4,5 % в насичуючому середовищі відбудеться утворення бороцементованого шару глибиною до 2,2 мм з більшою твердістю на 15–20 % та відносною зносостійкістю на 20–35 %, та меншою крихкістю на 20–30 %, у

порівнянні із зразками з цементованим шаром, отриманим за тих же самих технологічних умов. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику отримання бороцементованих шарів з поліпшеними механічними властивостями.

4. Вперше встановлено, що нагрів дослідних вуглецевих сталей (з вмістом C=0,50–0,65 % мас. марганцю 0,70–0,90 % мас. та кремнію 0,83–0,90 % мас.), мікролегованих системами алюміній–азот та титан–алюміній–азот, на 150–170 °C вище ліквідусу та подальше охолодження на повітрі зі швидкістю 1,5 °C/c сприяє збільшенню границі міцності та ударної в'язкості на 40–42 %, а границі плинності – на 20–24 %, у порівнянні з механічними властивостями цих же сталей при нагріві до температури ліквідусу (1495 °C) та охолодження з такою ж швидкістю. Встановлено, що така термодинамічна дія призводить до збільшення дисперсності структурних складових та однорідності розподілу марганцю та кремнію. Даний результат, згідно із встановленими закономірностями, дозволяє проводити раціональне корегування технології виготовлення високоміцних сталей різного призначення.

5. Вперше теоретично отримано поверхню термодинамічної стійкості розплаву системи Fe–B–C в концентраційному трикутнику γ -Fe–Fe₂B–Fe₃C та зроблено уточнення щодо закономірностей утворення фаз, в залежності від вмісту бору та вуглецю при кристалізації цих сплавів. Це дозволило розробити спосіб бороцементації, який захищений патентом України на винахід.

6. Отримав розвиток квазіхімічний метод для розрахунку вмісту хімічних елементів в сталях. Запропонований метод надає можливість моделювати фазовий склад сталей в залежності від вмісту хімічних елементів і відрізняється від класичного квазіхімічного методу тим, що було використано асимптотичний розв'язок системи рівнянь, а це дало змогу підвищити точність розрахунку.

7. Отримали подальший розвиток уявлення про термодинамічну стійкість фаз. Встановлено, що фаза (Al, Ti)₂(O, N)₃ є метастабільною та втрачає термодинамічну стійкість за температури 1150 °C. Встановлено, що після деформаційного та термічного оброблення вуглецевих сталей (C=0,50–0,65 % мас., Mn=0,70–0,90 % мас., Si=0,83–0,90 % мас.), мікролегованих системою титан–алюміній–азот) не фіксували фазу (Al, Ti)₂(O, N)₃, а спостерігали окремі включення легованого цементиту, нітридів та карбонітридів, що забезпечило підвищення твердості та пластичності сталі. Одержаний результат показав, що деформаційне та термічне оброблення сталі треба проводити при температурі не нижче за 1150 °C.

8. Отримали подальший розвиток уявлення про вплив титану в системі мікролегування титан–алюміній–азот вуглецевих сталей (C=0,50–0,65 % мас., Mn=0,70–0,90 % мас., Si=0,83–0,90 % мас.) на особливості структуроутворення. Встановлено, що при кристалізації сталі формуються

двофазні включення (розміром 2–5 мкм), в центрі яких розташована метастабільна фаза $(Al, Ti)_2(O, N)_3$, оточена карбонітридом $(Ti_{0,3}, Fe_{0,2})(N_{0,3}, C_{0,2})$, окремі включення нітридів та карбонітридів титану, карбідів.

9. Отримано подальший розвиток уявлення про вплив мікролегування на механічні властивості вуглецевих сталей. Встановлено, що вуглецева сталь ($C=0,50-0,65$ % мас., $Mn=0,70-0,90$ % мас., $Si=0,83-0,90$ % мас.), яка додатково мікролегована алюмінієм та азотом, має на 10–15 % вищі показники границі міцності, границі плинності та пластичності у порівнянні зі сталлю, мікролегованою комплексом алюміній, титан та азот за рахунок зменшення різнозернистості та підвищення дисперсності включень. Вказана вуглецева сталь може бути рекомендована для виготовлення продукції залізничного призначення.

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються, підтверджується:

- використанням добре апробованих сучасних методів дослідження, зокрема, мікрорентгеноспектрального, світлової та електронної мікроскопії, механічних випробувань;
- застосуванням сертифікованого дослідницького обладнання;
- достатньою статистичною кількістю випробних зразків;
- використанням строгих математичних методів та перетворень, сучасної обчислювальної техніки та програмного забезпечення;
- для деяких задач порівнянням з результатами на основі розрахунків різноманітними чисельними методами;
- чітким трактуванням отриманих результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням;
- апробацією результатів на міжнародних науково-технічних конференціях;
- отриманням за результатами досліджень патенту;
- застосуванням комплексного підходу з виконанням лабораторних експериментальних досліджень.

6. Теоретичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення роботи полягає в розробленні термодинамічного підходу для визначення термодинамічних функцій, температури утворення та стійкості фаз. В рівнянні енергії Гіббса була врахована конфігураційна складова, що відповідає за флуктуаційні процеси. Цей термодинамічний підхід дозволив отримати теоретично рівняння лінії термодинамічної стійкості розплаву та температуру нагріву вище лінії ліквідусу сплавів та сталей. Теоретично було встановлено для модельних сплавів та вуглецевих сталей (із вмістом вуглецю 0,35–0,65 % мас.), що величина нагріву вище лінії ліквідусу для значного зменшення кількості стабільних мікрокомплексів, яка буде

істотно впливати на подальший фазовий склад при затвердінні сплавів та сталей, становить 150–170 °С.

Було вдосконалено квазіхімічний метод за рахунок використання асимптотичного розв'язку систем рівнянь. Це дозволило обґрунтувати закономірності впливу хімічного складу на формування фазового складу та збільшити точність результату розрахунків.

В даній роботі було виконано розрахунок взаємодифузії бору та вуглецю при утворенні бороцементованих шарів. Результати теоретичного аналізу показали, що атоми бору підвищують дифузію атомів вуглецю та атоми вуглецю підвищують дифузію атомів бору, та надали пояснення утворенню бороцементованих шарів, що у 2,0–2,2 рази мають більшу глибину, ніж цементовані шари при тих же умовах отримання.

7. Практичне значення результатів дисертації.

Практичне значення результатів докторської дисертації полягає в тому, що отримана теоретично закономірність впливу температури нагріву вище лінії ліквідусу на фазовий склад, фізико-хімічні та механічні властивості, що була підтверджена при дослідженні бінарних модельних сплавів (Fe–B, Al–Cu, Pb–Sb), тернарного сплаву Fe–B–C та була використана для вуглецевих сталей. Нагрів до рекомендованої температури – на 150 °С вище лінії ліквідусу та охолодження на повітрі зі швидкістю 1,5 °С/с вуглецевих сталей з вмістом вуглецю 0,55–0,60 % (мас.) з підвищеним вмістом марганцю та кремнію та комплексом мікролегування – алюміній, титан та азот; алюміній та азот призвели до підвищення границі міцності на 10–15 %, границі плинності – до 30–35 %, пластичності – до 20–35 % у порівнянні з показниками сталей без нагріву вище лінії ліквідусу. Отриманий результат дозволяє керувати технологічним процесом при виготовленні литих заготовок.

Проведені в роботі дослідження показали, що сталь марки К, мікролегована алюмінієм та азотом, після деформаційного та термічного оброблення має вищу границю міцності та плинності, пластичності до 10–15 %, у порівнянні зі сталями марок Т, К, К1 та 2 за рахунок зменшення різнозернистості, дисперсності структурних складових. Сталь марки К, мікролегована алюмінієм та азотом, рекомендована до практичного використання у якості конструкційної сталі залізничного призначення.

Розроблено та захищено патентом України на винахід спосіб насичення поверхні сталевих виробів бором та вуглецем. Отримано бороцементовані шари глибиною до 2,2–2,4 мм, що зміцнені борвмісними фазами, які розташовані в об'ємі зерен та частково по границях. Отримані бороцементовані шари мають більшу твердість та зносостійкість покриття, у порівнянні з цементованими шарами, отриманими за тих же технологічних умов. Цей спосіб може бути використаний для зміцнення сталевих виробів, які зазнають поверхневого зношування в результаті навантаження.

8. Використання результатів роботи:

– Спосіб поверхневого зміцнення шляхом бороцементатації сталей може бути використаний на підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для підвищення експлуатаційної надійності як окремих деталей, так і машин та механізмів в цілому, що підтверджено відповідним актом впровадження.

– Сталь марки К, мікролегована алюмінієм та азотом, рекомендована до практичного використання, що підтверджено актом на впровадження в умовах «ІНТЕРПАЙП НТЗ».

9. Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях.

Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображено в 51 наукових публікаціях, а **основні наукові результати**: 27 праць, з яких одна монографія, 25 статей (21 у наукових фахових виданнях України (8 включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та/ або Web of Science) та 4 статті у зарубіжних наукових періодичних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та/ або Web of Science), один патент на винахід України; апробація результатів дисертації в 12 тезах доповідей на конференціях, з яких 1 включена до наукометричної бази Scopus та 1 до Scopus та Web of Science; 12 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації серед яких: 4 публікації включені до наукометричної бази Web of Science та 6 до Scopus та Web of Science.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертації:

1. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Вплив однорідності розплавів на механічні і експлуатаційні властивості сталей та сплавів: монографія. Дніпро: «Журфонд», 2023. 288 с. ISBN 973-966-934-415-1 (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, визначення закономірностей термодинамічної дії на фазовий склад фізико-хімічні, триботехнічні та корозійні властивості модельних бінарних сплавів (Fe–B, Al–Cu та Pb–Sb), механічні властивості дослідних сплавів та сталей, проведення теоретичних розрахунків, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

Публікації в зарубіжних фахових виданнях або виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science

2. **Filonenko N. Yu.,** Babachenko O. I., Kononenko G. A. Influence of overheating and cooling rate on the structures and properties of alloys of the Fe–B system. *Materials Science*. 2019. Vol. 55, No. 3. P. 440–446. <https://doi.org/10.1007/s11003-019-00323-x>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, визначення закономірностей термодинамічної дії на фазовий склад фізико-хімічні, триботехнічні та механічні властивості, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

3. **Filonenko N.** The Physical and Thermodynamic Functions of Borides. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2017. Vol. 18(1). P. 58–63. <https://doi.org/10.15330/pcss.18.1.58-63>.

4. **Filonenko N. Yu.**, Galdina O. M., Kochenov A. V. Thermodynamic Functions of Fe₃B Borides. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2019. Vol. 20, № 2. P. 139–143. <https://doi.org/10.15330/pcss.20.2.139-143>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, виконання теоретичних розрахунків, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

5. **Філоненко Н. Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Структурний стан та фізико-хімічні властивості стопів системи Al–Cu. *Металофізика та новітні технології*. 2020. Vol. 42, No. 5. С. 611–620. <https://doi.org/10.15407/mfint.42.05.0611>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

6. **Filonenko N. Yu.**, Galdina A. N., Babachenko A. I., Kononenko G. A. Structural State and Thermodynamic Stability of Fe–B–C Alloys. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2019. Vol. 20, № 4. P. 437–444. <https://doi.org/10.15330/pcss.20.4.437-444>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, виконання теоретичних розрахунків, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

7. **Філоненко Н. Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Вплив вмісту Карбону, Мангану та Силіцію на утворення структурних складових за безперервного лиття криць. *Металофізика та новітні технології*. 2023. Т. 45, № 7. С. 873–882. <https://doi.org/10.15407/mfint.45.07.0873>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

8. **Filonenko N. Yu.**, Babachenko O. I., Kononenko G. A., Domina E. A. Solubility of Carbon, Manganese and Silicon in γ -Iron of Fe–Mn–Si–C alloys. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. Vol. 21, № 3. P. 525–529. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.3.525-529>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, проведення теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів в фазах, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

9. **Filonenko N. Yu.**, Babachenko O. I., Kononenko H. A., Safronova O. A. Influence of the contents of chemical elements and the procedure of deformation and heat treatment on the formation of phase composition of wheel steel. *Materials Science*. 2022. Vol. 58, № 2. P. 190–195. <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00648-0>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення

експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

10. **Філоненко Н.Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Галдіна О. М. Вплив мікролегування Титаном на структуроутворення та механічні властивості криць. *Металофізика та новітні технології*. 2024. Т. 46, Вип. 11. С. 1085–1093. <https://doi.org/10.15407/mfint.46.11.1085>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, аналіз результатів впливу мікролегування на фазовий склад після лиття та термічного оброблення на механічні та службові властивості сталей, підготовка рукопису).

11. **Filonenko N. Yu.**, Bereza O. Yu., Pilyaeva S. B. Effect of Plastic Prestraining of 25 Steel on the Diffusion Saturation of its Surface with Boron and Carbon. *Materials Science*. 2015. Vol. 51, № 2. P. 172–179. <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9825-9>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, визначення взаємодифузії бору та вуглецю при бороцементациї, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

12. **Filonenko N.**, Babachenko O., Bartashevskaya L., Kononenko G., Ivanov N. Influence of overheating and cooling rate on the structure and physicochemical properties of Al–Cu Alloys. *Solid State Phenomena*. 2019. Vol. 291. P. 42–51. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.42>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, визначення закономірностей впливу термодинамічної дії на фазовий склад фізико-хімічні, триботехнічні та механічні властивості, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

13. **Філоненко Н. Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Математичне моделювання стійкості первинних фаз при кристалізації сплаву Fe–C–Mn–Si–Ti–Al–N. *Математичне моделювання*. 2021. № 2(45). С. 103–113. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.2\(45\)2021.246965](https://doi.org/10.31319/2519-8106.2(45)2021.246965). (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, теоретичне визначення термодинамічної стійкості фаз, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

14. **Філоненко Н. Ю.**, Баскевич О. С. Моделювання розчинності металів X (Cr, Mn, Co, Ni, Cu) у фериті. *Математичне моделювання*. 2017. № 2(37). С. 35–37. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, проведення теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів в фазах, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

15. **Філоненко Н. Ю.**, Галдіна О. М. Вплив карбону на фізичні та структурні властивості бориду Fe₂B. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2016. Т. 17, № 2. С. 251–255. <https://doi.org/10.15330/pcss.17.2.251-255>. (Особистий

внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, проведення теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів в бориді, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

16. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., **Філоненко Н. Ю.**, Хулін А. М. Розробка математичної моделі розрахунку теплового поля за перетином залізничної рейки при термічній обробці. Міжнародна конференція «Будівництво, матеріалознавство, машинобудування». 20–21 квітня 2018 р. Дніпро, Україна: Збірник наукових праць. Серія: Стародубовські читання. 2018. № 104. С. 31–35. <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/2929>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

17. **Філоненко Н. Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Дослідження впливу деформаційної та термічної обробки на фазовий склад сталі. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. №6 (006). С. 75–82. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.281221.75.817>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

18. **Філоненко Н. Ю.**, Баскевич О. С. Дослідження структури та фазового складу дифузійного шару в залежності від умов обробки. Міжнародна конференція «Будівництво, матеріалознавство, машинобудування», 20–21 квітня 2016 р. Дніпропетровськ, Україна: Збірник наукових праць. Серія: Стародубовські читання. 2016. Вип. 89. С.184–188. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

19. **Філоненко Н. Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Дослідження структури та механічних властивостей сталей марки Т та К+Al+N+Ti після лиття та гарячої пластичної деформації (ГПД). *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2021. № 2. С. 11–17. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2021-3-02>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

20. **Філоненко Н. Ю.**, Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Вплив температури нагрівання та швидкості охолодження на формування структурних складових у сталях. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. №1(96). С. 44–50. <https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.240422.44.842>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, визначення закономірностей впливу термодинамічної дії на фазовий склад та механічні властивості, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

21. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Сафронова О. А. Вплив швидкості охолодження та перегріву вище лінії ліквідусу на формування структурних складових. *Науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів»*. 2022. Т. 28, №2. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/mom2022.02.003>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

22. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Дослідження морфології багатошарових включень в сплавах системи Fe–C–Mn–Si–Ti–Al–N. *Метал і лиття України*. 2022. Vol. 30, No. 3(330). С. 81–87. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.03.081>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

23. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Волчук В. М. Вплив комплексного мікролегування алюмінієм, титаном та азотом на структурний склад та механічні властивості вуглецевих сталей. *Теорія і практика металургії*. 2022. №2(133). С. 53–58. <https://doi.org/10.34185/tpm.2.2022.07>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

24. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Волчук В. М. Вплив хімічного складу, температури нагріву та швидкості охолодження на формування структурних складових сталей. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2023. № 1(100). С. 52–60. <https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.280323.52.945>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, визначення закономірностей впливу термодинамічної дії на фазовий склад та механічні властивості, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

25. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Волчук В. М. Вплив температури нагріву та швидкості охолодження на формування структурних складових сталей при затвердінні. *Теорія і практика металургії*. 2023. №2(139). С. 10–15. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, визначення закономірностей впливу термодинамічної дії на фазовий склад та механічні властивості, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

26. **Філоненко Н. Ю.,** Бабаченко О. І., Кононенко Г. А. Вплив мікролегування титаном, алюмінієм та азотом вуглецевої сталі на особливості структури та механічні властивості. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2023. Вип. 37. С. 522–534. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-522-533>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування

та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

27. **Філоненко Н. Ю.**, Піляева С. Б. Спосіб насичення сталевих виробів бором та вуглецем. Патент на винахід, Україна № а 110304, С23С, 8/06, від 10.12.2015, Бюл. № 23. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка заявки на патент України).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

28. Filonenko N., Babachenko O. I., Kononenko G. A., Baskevich A. S. Investigation of Carbon, Manganese and Silicon Solubility in α -Iron of Fe–Mn–Si–C Alloys. IEEE International Conference on “Nanomaterials: Applications & Properties” (NAP-2020) Zatoka, Ukraine, 9-13 Nov. 2020. P. 01NSSA01(4 p.). <https://doi.org/10.1109/NAP51477.2020.9309708>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, виконання теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів у фериті, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

29. Filonenko N., Bartashevskaya L., Haldina O. Improvement of mechanical and operational steel characteristics by strengthening the surface. E3S Web of Conferences. 8th International Conference “Physical & Chemical Geotechnologies” 2024, 09 September 2024. Vol. 567. 01023 (13 p.). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701023>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

30. Filonenko N. Yu., Pilyaeva S. B. Estimation of carbon solubility in iron boride Fe₂B. *Physics of Liquid Matter: Modern Problems*: Book of Abstracts. The 7th International Conference Physics of Liquid Matter. May 27–30, 2016, Kyiv, Ukraine: Kyiv, 2016. P. 52. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

31. Філоненко Н. Ю., Галдіна О. М., Іванов М. А. Фазові перетворення у сплавах системи Al–Cu. *Фізичні явища в твердих тілах*: Матеріали XIII Міжнародної конференції, Харків. 5–8 грудня 2017 р. Харків. С. 29. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

32. Filonenko N. Yu., Galdina A. N. Fe₃B borides formation mechanism in Fe–B alloys. *МКФТТІН-XVI* (присвячена пам'яті професора Дмитра Фреїка): XVI Міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок і наносистем. Івано-Франківськ. 15–20 травня, 2017. Івано-Франківськ. С. 277. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

33. Філоненко Н. Ю. Баскевич О. С. Вплив карбону на фізичні та структурні властивості фаз Fe₂B та FeB. *Проблеми та перспективи розвитку*

залізничного транспорту: 77 Міжнародна науково-практична конференція. Дніпро. 11–12 квітня 2017 р. Дніпро. С. 308–310. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

34. Filonenko N. Yu., Galdina A. N. Investigation for the phase transformations and phase composition of Fe-B-C system alloys. *International Meeting on Materials for Electronic Applications* (IMMEA – 2015), September 09–12, 2015. Marrakech, Morocco. P. 98. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

35. Filonenko N. Yu., Galdina A. N. Study of the effect of overheat temperature on a state of Pb–Sb alloys. *Physics of Liquid Matter: Modern Problems* (PLMMP – 2018): Conference DVD, Book of Abstracts 8th International Conference. Kyiv. May 18–22, 2018. Kyiv. P. 166. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

36. Filonenko N. Yu., Bartashevskaya L. I., Ivanov N. A. Influence of overheating and cooling rate on the structure and physicochemical properties of Al–Cu alloys. International Scientific & Practical conference *Physical&Chemical Geotechnologies: Materials of the International Scientific & Practical conference Physical&Chemical Geotechnologies*. Дніпро, 10–11 жовтня 2018. С. 134-135. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

37. Філоненко Н. Ю., Галдіна О. М. Термодинамічна стабільність розплавів Fe–В–С. *Фізичні явища в твердих тілах: Матеріали XIV Міжнародної конференції*, Харків, 3–5 грудня 2019 р. Харків, С. 31. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

38. Filonenko N., Babachenko A. I., Kononenko G. A., Bartashevskaya L. The influence of the heating temperature above the liquidus line and the cooling rate on the structural state and mechanical properties of steels. *Development and Design of Modern Materials and Products: 1st International Scientific and Practical Conference*, Dnipro, October 25–27, 2022. С. 68. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

39. Філоненко Н. Ю. Розчинність бору та вуглецю в α -Fe. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції*, Дніпро, 23-24 квітня 2020 р. Дніпро. С. 242-243. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

40. Філоненко Н. Ю., Галдіна О. М. Дослідження термодинамічної стійкості сплавів системи Fe–В. *Журнал фізичних досліджень*. 2020. Т. 24, № 1. С. 1601-1–1601-7. <https://doi.org/10.30970/jps.24.1601>. (Особистий внесок

здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, вдосконалення термодинамічного підходу з урахуванням внеску, пов'язаного з флуктуаціями для бінарних сплавів, аналіз й узагальнення експериментальних та теоретичних результатів, підготовка рукопису).

41. **Filonenko N. Yu.** Structural state and thermodynamic stability of Al–Cu alloys. *International Journal of Modern Physics B*. 2020. Vol. 34, No. 8. 2050057 (11 pages). <https://doi.org/10.1142/S0217979220500575>.

42. Filonenko N. Yu., Galdina A. N. Effect of the overheat temperature and cooling rate on a structure of Al–Cu system alloys. *Вісник ХНУ, серія «Фізика»*. 2017. Вип. 27. С. 11–15. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, аналіз результатів).

43. Filonenko N. Yu., Galdina A. N. Solubility of boron and carbon in γ -iron of Fe–B–C alloys. *Journal of Physics and Electronics*. 2019. Vol. 27, № 1. P. 31–36. <https://doi.org/10.15421/331905>. (Особистий внесок здобувача: постановка задач, експериментальні дослідження, проведення теоретичних розрахунків, аналіз результатів).

44. **Філоненко Н. Ю.** Дослідження лінії ліквідусу на діаграмі стану Fe–B. *East European Journal of Physics*. 2018. № 4. P. 87–92. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2018-4-10>.

45. **Філоненко Н. Ю.** Термодинамічні функції моноборидів ХВ (X=Ti, Mn, Fe, Co). *East European Journal of Physics*. 2016. Vol. 3, No. 4. С. 72–77. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2016-4-08>.

46. **Філоненко Н. Ю.** Термодинаміка та структурний стан сплавів системи Pb–Sb. *East European Journal of Physics*. 2018. Vol. 5, No. 1. С. 55–60. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2018-1-06>.

47. **Filonenko N. Yu., Galdina O. M.** Liquidus surface and spinodal of Fe–B–C alloys. *East European Journal of Physics*. 2020. № 1. P. 75–82. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2020-1-06>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування та проведення експериментальних досліджень, виконання теоретичних розрахунків, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

48. **Filonenko N. Yu., Galdina A. N.** Effect of carbon on physical and structural properties of FeB iron monoboride. *East European Journal of Physics*. 2016. No. 2. P. 49–53. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, вдосконалення квазіхімічного методу, проведення теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів в фазах, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

49. **Filonenko N. Yu., Babachenko A. I., Kononenko G. A., Baskevich A. S.** Solubility of carbon, manganese and silicon in α -iron of Fe–Mn–Si–C alloys. *East European Journal of Physics*. 2020. № 4. С. 90–94. <https://doi.org/10.26565/2312->

4334-2020-4-12. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, вдосконалення квазіхімічного методу, проведення теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів в фазах, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

50. **Filonenko N. Yu.**, Babachenko O. I., Kononenko H. A., Baskevich A. S. Investigation of the structural composition of Fe–Mn–Si–Ti–Al–N–C alloys and the solubility of elements in α -iron. *East European Journal of Physics*. 2021. № 4. С. 120–123. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2021-4-14>. (Особистий внесок здобувача: постановка задачі, планування експериментальних досліджень, проведення теоретичних розрахунків розчинності хімічних елементів в фазах, аналіз й узагальнення результатів, підготовка рукопису).

51. **Filonenko N. Yu.** Solubility of boron and carbon in ferrite of the Fe–B–C system alloys. *East European Journal of Physics*. 2019. № 2. Р. 52–57. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2019-2-08>.

В публікаціях повністю викладені матеріали дисертації. В усіх опублікованих працях Філоненко Н.Ю. особистий внесок автора відповідає високому рівню дослідницької діяльності.

11. Апробація матеріалів дисертації.

Результати дисертації обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських конференціях: XV, XVI Міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок і наносистем (Івано–Франківськ, 2018 р.); XII XIII, XIV Міжнародна конференція «Фізичні явища в твердих тілах» (Харків, 2015 р., 2017 р., 2019 р.); IV Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми фізики конденсованого стану» (Київ, 2017 р.); International Meeting on Materials for Electronic Applications IMMEA–2015 (Marrakesh, Morocco, 2015 р.); 75, 77, 80 Міжнародна практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2015 р., 2017 р., 2020 р.); Міжнародна конференція Стародубовські читання, «Будівництво, матеріалознавство, машинобудівництво» (Дніпро, 2016 р.); International Conference «Physics of Liquid Matter: Modern Problems» (PLMMP) (Kyiv, Ukraine, 2016 р., 2018 р.); International Conference on Nanomaterials: Application and Properties (Zatoka, 2017 р., 2018 р.); International Scientific & Practical Conference «Physical & Chemical Geotechnologies» (Dnipro, 2018 р.); «Physical and Chemical Geotechnologies. Materials of the International Scientific and Practical Conference» (Dnipro, 2021 р.); 1st International Scientific and Practical Conference «Development and Design of Modern Materials and Products» (Dnipro, 2022 р.).

12. Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертація та реферат написані грамотно, на достатньому науковому рівні, а стиль викладу в них матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує належну легкість і доступність їх сприйняття.

13. Відповідність змісту дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту.

За змістом дисертаційна робота відповідає затвердженому МОН України паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство (п. 1 «Розроблення методів дослідження й оцінювання фізичних, хімічних, технологічних властивостей матеріалів, показників якості та споживчих властивостей матеріалів залежно від їх призначення», п. 2 «Встановлення закономірностей зв'язку між показниками різних властивостей матеріалів», п. 3 «Конструкційні та технологічні матеріали на основі металів, полімерів і неорганічних сполук», п. 7 «Фізичні та фізико-хімічні явища в об'ємі, робочому шарі і на поверхні деталей та вузлів із різних матеріалів у процесі експлуатації»).

14. Відповідність докторської дисертації вимогам пп. 7, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 502 від 19.05.2023, №507 від 03.05.2024).

Докторська дисертація Філоненко Н. Ю. відповідає вимогам пп. 7, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук»:

- докторська дисертація є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно;
- містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати у галузі матеріалознавства, одержані здобувачем особисто, які мають практичну та теоретичну цінність та які підтверджуються документами, що засвідчують проведення здобувачем досліджень;
- виконана за науковою спеціальністю з галузі науки 13 – Механічна інженерія відповідно до переліку, затвердженого МОН;
- відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство;
- містить обґрунтовані висновки на основі одержаних здобувачем достовірних результатів;
- характеризується єдністю змісту;
- свідчить про особистий внесок здобувача в науку щодо розв'язання важливої теоретико-прикладної проблеми;
- відповідає принципам академічної доброчесності;
- наукові положення і результати кандидатської дисертації здобувачки не використовувались у її докторській дисертації.

15. Рекомендація докторської дисертації до захисту.

Рекомендуємо дисертацію Філоненко Наталії Юріївни «Розвиток науково-технічних положень про вплив термодинамічних факторів на структуру та механічні властивості сплавів на основі алюмінію та заліза» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство до захисту в спеціалізованій вченій раді Д 08.084.08 з

присудження наукового ступеня доктора наук ННІ «Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій.

Рецензенти:

д.т.н, доцент, доцент кафедри
матеріалознавства та обробки матеріалів,
декан факультету інформаційних
технологій та механічної інженерії
ННІ «Придніпровська академія
будівництва і архітектури» УДУНТ



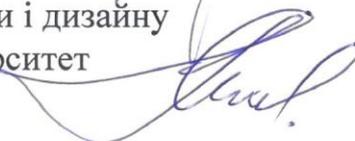
Олександр БЕКЕТОВ

д.т.н., професор, професор кафедри
матеріалознавства та термічної
обробки металів ННІ
«Дніпровський металургійний
інститут» УДУНТ



Костянтин УЗЛОВ

д.т.н., професор, професор кафедри
конструювання, технічної етики і дизайну
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»



Дмитро ЛАУХІН