

Рішення разової спеціалізованої вченої ради PhD №11965 про присудження ступеня доктора філософії.

Здобувач ступеня доктора філософії Камкін Володимир Юрійович, 1994 року народження, громадянин України, освіта вища: у 2019 році завершив магістратуру Національної металургійної академії України за спеціальністю 136-Металургія. З 01.04.2022р. по 31.03.2026р. є аспірантом денної форми навчання кафедри металургії чавуну і сталі Українського державного університету науки і технологій м. Дніпро, за спеціальністю 136 – Металургія.

Разова спеціалізована вчена рада PhD №11965 утворена наказом ректора Українського державного університету науки і технологій №21 від 02 лютого 2026 року "Про затвердження персонального складу спеціалізованої вченої ради для проведення разового публічного захисту дисертаційної роботи" у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради	<b>Костянтина НІЗЯЄВА</b> - доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри металургії чавуну і сталі ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро.
Рецензентів	<b>Вадима СЕЛІВЬОРСТОВА</b> – доктора технічних наук, професора, декана факультету електромеханіки та електрометалургії ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій <b>Антон ГОРОБЕЦЬ</b> – кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри електрометалургії ім. акад. М.І. Гасика ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій
Опонентів	<b>Олексія СМІРНОВА</b> – доктора технічних наук, професора, завідувача відділу магнітної гідродинаміки Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ. <b>Віталія ПШТЮКА</b> – кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника відділу фізико – технічних проблем металургії сталі Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м.Дніпро.

На засіданні 16 березня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 13 - Механічна інженерія Камкіну Володимирі Юрійовичу на підставі публічного захисту дисертації "Розробка наскрізної технології виробництва низьковуглецевої сталі для виготовлення високоякісного тонколистового прокату" за спеціальністю 136 - Металургія.

Дисертацію виконано в Українському державному університеті науки і технологій МОН України.

Науковий керівник Величко Олександр Григорович, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор директор ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій МОН України.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, який за змістом, рівнем наукової новизни, теоретичним і практичним значенням результатів, кількістю наукових публікацій відповідає вимогам пункту 6 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 2022 року № 44 (зі змінами) та вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року №40 (зі змінами).

Дисертація Камкіна Володимира Юрійовича є завершеною науковою працею в межах поставлених завдань та вирішує важливе наукове завдання - розробка технології виплавки та позапічної обробки низьковуглецевої електросталі для виготовлення високоякісного тонколистового прокату.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Вперше на основі результатів термодинамічних розрахунків встановлена та підтверджена експериментальними дослідженнями величина активності кисню у напівпродукті з ЕДП, яка забезпечує зниження вмісту вуглецю до заданої величини, його окислення з розкислювачів і електродів при нагріві металу на печі ковші, має бути високою та складати для умов даного виробництва 1120...1600 ppm, що є достатнім для протікання даних процесів і забезпечує вміст вуглецю на випуску (0,03-0,048%), з температурою металу на рівні 1650...1700<sup>0</sup>C. Одержано аналітичний вираз для визначення вмісту вуглецю в металі на випуску з ЕДП. За таких умов досягається висока ефективність процесу позапічної обробки металу з ЕДП.
2. Набули подальшого розвитку закономірності дегазації металу в ківшах з продувкою аргоном, які встановлені на основі результатів математичного моделювання на розробленій на кафедрі теорії металургійних процесів математичній моделі, в якій масообмін між розчиненими в металі газами ([H], [N], [O]) і бульбашками аргону визначався наближенням системи до рівноваги, а розподіл газів з металу відбувався за трьома статтями – у бульбашки CO, у бульбашки аргону та через відкриту поверхню металу при зовнішньому лімітуванні процесу та значному відхиленні реакції видалення

кисню від рівноваги. При змінненні технологічних параметрів відбувається блокування значної частини поверхні розділу метал – газова фаза збільшеним потоком кисню у порівнянні з потоком водню; переміщування розплаву в ковші інертним газом сприяє зародженню продуктів реакції окислення вуглецю.

3. Розширено уявлення щодо механізму впливу вмісту азоту на утворення нітридів титану та алюмінію. Встановлено закономірності впливу титану на зменшення дії азоту у сталях на появу дефектів металу, пов'язаних з виділенням нітридів алюмінію по границях первинних зерен, що обумовлюється переважаючою термодинамічною спорідненістю титану до азоту у порівнянні з алюмінієм. На основі аналізу експериментальних даних одержано аналітичний вираз, який визначає ефективний вміст титану для попереднього зв'язування азоту у нітрид титану та попереджає формування шкідливих нітридів алюмінію, утворення яких відбувається за рахунок азоту з нітридів титану. При вмісті в сталі титану вище запропонованого вказаною залежністю, спостерігається поява дефектів, пов'язаних з нітридами титану, а менша кількість титану є недостатньою для досягнення зазначеного технічного результату.

4. Вперше використано методику фізико-хімічного моделювання, яка розроблена в ІЧМ НАНУ, для визначення оптимального складу низьковуглецевої сталі та встановлені інтегральні параметри, які характеризують стан сплаву і обумовлюють зміну властивостей у встановленому концентраційному інтервалі модифікуючих елементів: С (0,002...0,003%), Мп (0,12...0,13%), Si (0,01...0,02%), Р (0,006...0,008%), S (0,011...0,012%), Al (0,04...0,05%), Ti (0,05...0,06%), N (0,004...0,005%), Ca (0,0002...0,0003%) та показують, що при встановлених режимах деформаційної обробки дослідних зразків сталі досягаються показники механічних властивостей та структури прокатаних зразків, які відповідають характеристикам низьковуглецевої сталі: межа міцності 354...362 МПа, відносне звуження склало 84-85%, а відносне подовження, %:  $\sigma_5$  в межах 42-44,  $\sigma_{10}$  становило 33-36. Механічні властивості за діаграмою «межа міцності – загальне подовження» для листових сталей показує, що вони відповідають рівню, властивому високо пластичним ІF-сталям, як по отриманому складу, так і за властивостями.

Результати дисертаційної роботи, що містять данні комплексного дослідження термодинаміки взаємодій компонентів у металевому розплаві при виплавці та позапічній обробці та їх вплив на окисленість металу, результати фізико-хімічного аналізу для обґрунтування параметрів зниження вмісту розчинених газів та показники вакуум вуглецевого розкислення, визначає характеристики нітридоутворення та раціональний вміст легуючих компонентів, на основі чого розроблені практичні рекомендації щодо виплавки, позапічної обробки та пластичної деформації ультранизьковуглецевої сталі для виробництва особливо тонкого листового

прокату з підвищеними властивостями у гарячекатаному стані з наступною інтенсивною пластичною деформацією, впроваджені в навчальний процес Українського державного університету науки і технологій та використовуються при викладанні дисципліни «Фізико-хімічні основи одержання металів та сплавів» для бакалаврів спеціальності 136 Металургія ОП «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» та «Моделювання технологічних процесів за фахом» для магістрів спеціальності 136 – Металургія ОП «Дослідження процесів та розробка технологій в металургії» кафедри теоретичних основ металургійних процесів ДМетІ УДУНТ у 2023-2025 н.р. (акт від 13.11.2025р).

Здобувач має 16 наукових публікацій: з них 6 статей у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України; 2 публікації в закордонних фахових виданнях, 7 тез доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних конференціях; 1 патент на винахід:

1. Низьковуглецева сталь для тонкого листового прокату з підвищеними властивостями. Камкіна Л.В., Проїдак Ю.С., **Камкін В.Ю.**, Ремез О.А., Безшкуренко О.Г. Теорія і практика металургії. - № 1-2 (112-113). – 2018. – С. 35-44. [https://nmetau.edu.ua/file/zh2018\\_1-2\\_w10.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh2018_1-2_w10.pdf)

2. Спінювання шлаку в ДСП як ефект застосування шлакоутворюючих сумішей з регульованим співвідношенням компонентів при вдуванні у ванну в струменях газу. **Камкін В.Ю.**, Токарев С.І., Мішалкін А.П., Анкудінов Р.В., Безшкуренко О.Г. Теорія і практика металургії. – 2018. - № 6. - С. 50-56. ISSN 1028-2335. <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.06>

3. Технологія виплавки чистої сталі та особливості позапічної обробки. Куцова В.З., **Камкін В.Ю.**, Кнапинський М.Г., Проїдак С.В., Варицев А.О. Теорія і практика металургії. - №3. – 2019. - С. 5-13. ISSN 1028-2335. <https://doi.org/10.34185/tpm.3.2019.01>.

4. Зменшення шкідливого впливу азоту на властивості низьковуглецевої сталі 08Ю шляхом підбору раціональної кількості нітридоутворюючих елементів. Камкіна Л.В., Мішалкін А.П., **Камкін В.Ю.**, Грищенко Ю.М., Ісаєва Л.Є. Теорія і практика металургії. - №6. – 2019. – С. 16-24. ISSN 1028-2335. <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2019.03>

5. Фізико-хімічні основи і математичне моделювання процесів дегазації при позапічній обробці сталі. Камкіна Л.В., Величко О.Г., **Камкін В.Ю.** Теорія і практика металургії. - №3(128). – 2021. - С. 31-40. <https://doi.org/10.34185/tpm.3.2021.05>

6. Coordinated control of the composition of 01yut steel and deformation processing modes to achieve specified mechanical properties. Velychko O.G., **Kamkin V.Yu.**, Projdak Yu.S. Теорія і практика металургії. №2(143), 2024. С 36-44. ISSN 1028-2335. <https://doi.org/10.15802/tpm.2.2024.06>  
[https://nmetau.edu.ua/file/zh\\_02\\_2024\\_ok.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh_02_2024_ok.pdf)

7. Внепечная обработка электростали опытными шлакообразующими смесями с целью получения низкоуглеродистой стали. Проїдак Ю.С., Куцова

У дискусії взяли участь голова разової спеціалізованої вченої ради, рецензенти та офіційні опоненти, які висловили наступні зауваження:

**Олексій СМІРНОВ** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу магнітної піддинаміки Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України, м. Київ, надав позитивний відгук із зауваженнями:

1. Для температури 1600–1650°C при вмісті в металевій ванні ДСП вуглецю на рівні 0,08% (рис. 3.1), розрахунковий рівноважний вміст кисню становить 0,00298–0,00310 ppm. Рівноважні значення вмісту кисню в металі та порівняння з фактичними значеннями визначають степінь відхилення від рівноваги. Доцільним вважається використання цих даних, які визначають відхилення від рівноваги, які необхідні для подальших розрахунків витрати розкислювачів при подальшій позапінній обробці сталевотої напівпродукту.

2. Автор стверджує, що окисленість металу на випуску визначається «вмістом вуглецю в металі» (рис. 3.3 а) і залежить від витрати кисню (рис. 3.3 б) і температури (рис. 3.3 в)». Необхідно звернути увагу, що витрата кисню дуття є джерелом не тільки активного кисню в металі, але й впливає на вміст шлаковий фази (FeO), визначаючи загальний окислювальний потенціал системи, що досліджується.

3. Автор на стор. 93, розділу III, стверджує, що для зниження вмісту шкідливих домішок і підвищення якості металу у складі шихтових матеріалів застосовують рідкий чавун, не точно визначив його частку. Вона, згідно з результатами сучасних досліджень, в складі металопилю ДСП може досягати 30–50%, а в окремих технологічних схемах – до 60%. Частка рідкого чавуну 60% є максимумом технологічно допустимою межею для досягнута рівню розвитку технології ДСП (так звана плавка в ДСП з болотом – підвищує енергоефективність процесу). PS. На сторінці 95 – один раз приведено 30%, а другий – через 7 строчок – 30–50%.

4. Аналіз результатів повного матеріального балансу серії плавки (табл. 3.2), свідчить, що на частку алярнативних джерел енергії припадає 31,1% (186,4 кВт·год/т), з них 14,9% (89,47 кВт·год/т) – тепло екзотермічних реакцій. Не визначено джерело алярнативної енергії, частка якого в придатковій частині енергобалансу становить 16,1%.

5. У розділі 4 дисертації автор приводить результати фізико-хімічного моделювання та визначив концентраційний розбіг модифікуючих елементів та основних легуючих компонентів для визначення їх впливу на властивості низьковуглецевої сталі. Проте було доцільно надати більш глибоке теоретичне обґрунтування вибору межі концентрації, виходячи з необхідності збереження цінних компонентів.

6. У роботі варто було порівняти ефективність запропонованої технології з існуючими промисловими процесами з точки зору енергоспоживання та екологічних показників

7. Деякі формули та графіки потребують уточнення одиниць вимірювання для кращого сприйняття.

**Віталій ПШТЮК** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу фізико – технічних проблем металургії сталі Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м.Дніпро, надав в цілому позитивний відгук з зауваженнями:

1. У розділі 4 дисертації автор на основі результатів фізико-хімічного моделювання приводить концентраційний розбіг модифікуючих елементів та основних легуючих компонентів для визначення їх впливу на властивості низьковуглецевої сталі. Проте було б доцільно надати більш глибоке теоретичне обґрунтування вибору верхньої межі концентрації, та додати опис впливу кожного на властивості сталі.

2. На рис.3.5 показано «вплив вмісту активного кисню в сталі на випуску на вміст вуглецю в готовій сталі», що є результатом взаємодії металу з часткою пічного шлаку в умовах їх інтенсивного перемішування, автор трактує що «сприяє зменшенню вмісту вуглецю при вторинній обробці». Необхідно розширити опис та застосувати фізико-хімічну сутність процесів під час випуску плавки в ківш, оскільки інтенсифікація масообміну в системі «метал–шлак–газ» сприяє зміщенню реакції окислення вуглецю зі стану динамічної нерівноваги у напрямку термодинамічної рівноваги.

3. Не визначився здобувач з вибором терміну, що визначає вміст в металі кисню: вміст активного кисню, чи окислюванність/окисленість металу. Найбільш коректним науково базовим терміном, який використовують як відповідну характеристику металу, вважають «вміст розчиненого кисню в металі» або «вміст активного (розчиненого) кисню в металі». Ці два стандартні наукові терміни використовуються як при аналізі термодинаміки сталеплавильних процесів, так і в дослідженнях реальних процесів в кисневому конвертері, ДСП та ковші.

4. Істотна залежність між вмістом сірки в напівпродукті і температурою металу на випуску не встановлена. Можливо, якщо інтервал значень зміни температури, який необхідно було б привести за текстом, був незначний. Якщо він - значний: збільшення температури металу та шлаку інтенсифікує процес десульфурації, тому що знижує в'язкість шлакової фази, що суперечить термодинамічному прогнозу (кінетика «перемагає» термодинаміку – один з рідкісних випадків в теорії та практиці металургійних процесів). А видалення сірки в газову фазу залежить не тільки від «окисленості металу», точніше від значення  $p_{O_2}$ , але й значною мірою від способу введення кисню – зверху, збоку чи знизу через днище агрегату.

5. У розділі 3 розглянуто спінювання шлаку для зменшення теплового навантаження з використанням складних шлакоутворюючих сумішей, у складі яких є вторинні матеріали. Але при формуванні сумішей не вказується співвідношення компонентів та кінетика їх обпалу.

6. Автор пропонує для зменшення шкідливої дії азоту при реагуванні з елементами з високою спорідненістю до утворення нітрідів, використовувати титан. Потребує уточнення опис аналітичного виразу для встановлення концентрації титану у розплаві. Для однозначного трактування механізму взаємодії компонентів автору слід було б долучити розрахунки рівноважних концентрацій провідних компонентів та їх співвідношення для утворення відповідних нітрідів.

7. У роботі варто було б порівняти ефективність запропонованої технології з існуючими промисловими процесами з точки зору енергоспоживання та екологічних показників

**Вадим СЕЛІВЬОРСТОВ** – доктор технічних наук, професор, декан факультету електромеханіки та електрометалургії ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій надав позитивну рецензію з зауваженнями:

1. Перспективним напрямком досліджень, результати яких використано в дисертаційній роботі та приведено в 3 розділі, вважаю використання шлакоутворюючих матеріалів. Їх застосування на кінцевих етапах виплавки сталі дозволяє забезпечити ефективне проведення позапічної обробки сталевого напівпродукту для підготовки металу до мікролегування та модифікування. Поряд з технологічним рішенням, обґрунтованим в дисертаційній роботі теоретично та перевірено експериментально, є дані про ефективність використання феросиліцію (ФС65) на кінцевих етапах плавки перед випуском металу для розкислення шлаку. Традиційно його розглядають як розкислювач металу в умовах ковша, що звужує спектр використання складових фізико-хімічного потенціалу корисних властивостей феросиліцію та вплив на властивості шлаку. Бажано було б поряд з алюмінієм та феромарганцем розглянути вплив феросиліцію на змінення вмісту кисню

2. При встановленні залежності властивостей металу на випуску від технологічних параметрів процесу в умовах діючого виробництва використано інформацію з паспортів плавок виробництва низьковуглецевих сталей. Це дозволило розрахувати середні значення технологічних параметрів плавки, узагальнити результати ведення процесу, встановити максимальні та мінімальні значення показників: питомих витрат електроенергії, кисню, склад готової сталі, угар розкислювачів, ступінь десульфурації та інші, важливі для оптимізації показники. Висновок про те, що зниження витрати кисню сприяло збільшенню виходу придатного, автор пов'язує зі зменшенням окислення заліза у розплаві та скороченням втрат металу у вигляді закису заліза (розділ 3, підрозділ 3.1, стор. 85) є не досить коректним. Кінцевий баланс кисню в системі «С - О – Fe», який досягається шляхом перерозподілу кисню в системі, визначається, вірогідно, після проведення розкислення сталі при позапічній обробці. А приведений в роботі висновок щодо «виходу придатного», характеризує, очевидно, поточний стан системи, який побічно впливає на цей важливий параметр.

3. Визначаючи витрату кисню дуття автор вказує, що окисленість металу на випуску визначається вмістом вуглецю в металі і залежить від витрати кисню і температури. Використовуючи цей висновок, доцільно звернути увагу, що витрата кисню є джерелом не тільки активного кисню в металі, але й впливає на вміст в шлаковій фазі (FeO), визначаючи загальний окислювальний потенціал системи, що досліджується.

4. Автор стверджує, що особливе значення для забезпечення високих показників вакуумування має визначення величини його окисленості та відповідного вмісту вуглецю, не приводячи механізму їх впливу на реалізацію вакуумування. Слід звернути увагу, що визначення перед вакуумуванням вмісту активного, розчиненого в металі кисню та рівноважного з ним вмісту вуглецю є необхідним, тому що їх співвідношення визначає термодинамічну можливість і кінетику розвитку реакції зневуглецювання  $[C]+[O]=CO$ , яка і є основним механізмом видалення вуглецю при вакуумній обробці низьковуглецевих сталей, а також фундаментальним принципом процесів VD, RH, VOD. Тому передача металу з ДСП на УКП повинна забезпечити оптимальне співвідношення  $[C] \leftrightarrow [O]$ .

5. В дисертаційній роботі вперше використано методику фізико-хімічного моделювання для визначення оптимального складу низьковуглецевої сталі з визначенням інтегральних параметрів. На основі цих даних встановлено концентраційний інтервал вмісту модифікуючих елементів при досягаються показники механічних властивостей низьковуглецевої сталі. Це дуже цікавий та інформативний підхід до аналізу впливу елементів на властивості. Бажаним було б доповнити описом впливу кожного елементу на змінення властивостей, виходячи з можливостей теорії Приходько Е.В.

6. Деякі формули та графіки потребують уточнення одиниць вимірювання для кращого сприйняття.

**Антон ГОРОБЕЦЬ** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електрометалургії ім. акад. М.І. Гасика ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій надав позитивний відзив з зауваженнями:

1. В роботі автор вказує, що окисленість металу на випуску визначається вмістом вуглецю в металі і залежить від витрати кисню і температури. Не враховано здобувачем, що витрата кисню є джерелом не тільки активного кисню в металі, але й впливає на вміст в шлаковій фазі (FeO), що визначає загальний окислювальний потенціал дослідженої системи..

2. Розрахунком в роботі встановлені середні значення технологічних параметрів плавки, узагальнені результати ведення процесу, встановлені максимальні та мінімальні значення показників: питомих витрат електроенергії кисню, склад готової сталі, угар розкислювачів, ступінь десульфурзації та інші, важливі для оптимізації показники. Висновок про те, що зниження витрати кисню сприяло збільшенню виходу придатного, автор пов'язує зі зменшенням окислення заліза у розплаві та скороченням втрат

металу у вигляді закису заліза (розділ 3, підрозділ 3.1, стор. 85) є не досить коректним.

3. На рис.3.5 приведено дані, щодо впливу активного кисню в сталі на випуску на вміст вуглецю в готовій сталі», автор робить висновок, що це сприяє зменшенню вмісту вуглецю при вторинній обробці .Потребує огрунтування даний висновок. .

4. У розділі 3 запропоновано використовувати складні шлакоутворюючі суміші для створення спіненого шлаку, у складі яких є вторинні матеріали, що є позитивним. Оригінальним є застосування вапна з недопалом. Не вказано, як створювались суміші, при якому співвідношенні компонентів..

5. У розділі 4 дисертації автор приводить концентраційний розбіг модифікуючих елементів та основних легуючих компонентів, який визначає їх вплив на властивості сталі. Потребує пояснень принцип вибору вказаної межі концентрацій, та дію основних легуючих на механічні властивості дослідної сталі.

6. Деякі формули та графіки потребують уточнення одиниць вимірювання для кращого сприйняття.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада PhD №11965 Українського державного університету науки і технологій м. Дніпро, присуджує Камкіну Володимирі Юрійовичу ступінь доктора філософії з галузі знань 13 - Механічна інженерія за спеціальністю 136 - Металургія.

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої  
вченої ради PhD №11965



Костянтин НІЗЯЄВ