

ВИСНОВОК

комісії спеціалізованої Вченої ради Д26.207.03 про відповідність спеціальності і профілю ради дисертаційної роботи **Сидорчука Олега Миколайовича «Розвиток наукових засад формування структури та властивостей при виготовленні штампових сталей для гарячого деформування міді, мідно-нікелевих та алюмінієвих сплавів»**, на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Комісія у складі членів спецради д.т.н., професора Уманського О.П., д.т.н. Стороженко М.С., д.т.н. Фролова Г.О., розглянувши дисертаційну роботу Сидорчука О.М. «Розвиток наукових засад формування структури та властивостей при виготовленні штампових сталей для гарячого деформування міді, мідно-нікелевих та алюмінієвих сплавів», на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук, прийшла до наступного висновку:

1. Актуальність теми.

Традиційний напрямок, легування сталі легуючими компонентами, такими як Co, W та ін., що підвищують критичну температурну точку A_{c1} для підвищення теплостійкості сталі, не задовольняє вимогу в експлуатації інструменту за робочих температур вище критичної температури A_{c2} та нижче A_{c1} . Навіть найбільш теплостійкі сталі (ГОСТ 5950–73) інтенсивно розміщуються при робочих температурах вище 650 °C, що є основною причиною швидкого виходу інструменту з ладу. Така ситуація вимагає пошуку іншого класу сталей. Таким чином був запропонований новий клас сталей, які при кімнатній температурі відносяться до феритного класу, а при експлуатаційній температурі переходять в аустенітну область. Такі сталі були названі сталями з регульованим аустенітним перетворенням під час експлуатації. Введення до складу цих сталей нікелю в кількості від 5 до 9 мас. % призводить до зниження критичних точок A_{c1} та A_{c2} , тоді як у випадку сталей з високою теплостійкістю їх намагаються навпаки підняти. На сьогоднішній день ефективність прогресивних методів точного формоутворення залежить від стійкості інструменту. Для штампових сталей гарячого деформування актуальність полягає у необхідності підвищення теплостійкості, розширення робочого інтервалу температур, підвищення експлуатаційного ресурсу штампової сталі для гарячого деформування, а також зниження їх собівартості.

2. Наукова новизна роботи відображена наступними основними положеннями:

1. *Встановлено*, що за рахунок введення до складу сталі 3Х3М3Ф добавок нікелю (4Х3Н5М3Ф) вдалось знизити критичну температуру A_{c2} . Разом з попереднім нагрівом штампового інструменту до температури 400–450 °C, це дозволило в процесі експлуатації інструменту при гарячому деформуванні мідно-нікелевих сплавів досягти розігріву робочої частини матриці вище критичної точки A_{c2} ; і забезпечити аустенітну структуру і віднести її до сталей з регульованим аустенітним перетворенням під час експлуатації.

2. *Вперше* було встановлено критичні температурні точки сталі марки 4Х3Н5М3Ф ($A_{c1} = 700 \pm 10$ °C, $A_{c1} = 230 \pm 20$ °C, $A_{c2} = 840 \pm 10$ °C та $A_{c2} = 380 \pm 20$ °C) та розробити режим неповного відпау між критичними точками A_{c1} та A_{c2} (температура 750 $\pm$ 20 °C), при якому відбувається процес часткової перекристалізації, внаслідок чого утворюється кулеподібна карбідна складова у структурі металу, яка забезпечує підвищення ударної в'язкості. Така структура полегшила механічну обробку заготовок при виготовленні інструменту.

3. За результатами дилатометричних досліджень, *вперше* показано роль добавок нікелю у підвищенні розгаростійкості штампової сталі за рахунок зменшення коефіцієнту термічного розширення при переході від мартенситу до аустеніту під час нагрівання загартованої сталі.

4. Вперше було побудовано діаграму фазового стану для сталі марки 4X4H5M4Ф2 у середовищі „CALPHAD“, за умови термодинамічної рівноваги, яка дозволила встановити межі термодинамічно-рівноважного існування аустеніту та спрогнозувати наявність різних фаз у сталі, їх кількість та температурний інтервал існування.

5. Вперше, за допомогою високотемпературного X-променевого фазового аналізу, було встановлено нелінійну залежність збільшення вмісту аустеніту (від 2,7 до 90 %) в сталі марки 4X3H5M3Ф в інтервалі температур від кімнатної до 800 °C.

6. Вперше встановлено, що в інтервалі температур від 450 до 800 °C залежність кількості аустеніту, яка є термічно індукованою величиною, описується законом Арреніуса ($R^2 = 0,98397$), тоді як залишкова кількість аустеніту за кімнатної температури не відповідає цій залежності.

7. Вперше було показано, що підвищення теплостійкості сталі 4X4H5M4Ф2 забезпечувалося підвищенням температури гартування до температури початку первинної рекристалізації (1110 °C), при якій в аустеніті розчинилася більша кількість карбідної фази типу $M_{23}C_6$ і при наступному відпуску, ця карбідна фаза менше виділялася та коагулювала.

8. Вперше було встановлено причину виникнення оберненої відпускнуої крихкості деформованої сталі 4X4H5M4Ф2, що пов'язана із утворенням на межах зерен карбідної фази типу M_7C_3 , при наявності якої знижується твердість нижче 40 HRC при відпуску за температури вище 630 °C і за таким механізмом відбувається її розміщення.

9. Вперше було встановлено причину виникнення необерненої відпускнуої крихкості литої сталі 4X4H5M4Ф2, що полягала у формуванні твердого розчину заміщення (хімічна формула фази $Fe_{0,93}Ni_{0,056}$) та встановлено, що легуючий елемент Ni призводив до затримки процесів коагуляції карбідної фази типу M_6C на межах зерен, що знижувало ударну в'язкість, підвищило питомий електричний опір та крихкість сталі.

3. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

1) досягнуто скорочення енергоємних режимів термічної та деформаційної обробки, які проводили для штампових сталей підвищеної теплостійкості та в'язкості традиційного методу виробництва, а саме відмовитися від проведення дифузійного відпалу за температури 1100 ± 20 °C, кування заготовок за температури 1170 ± 20 °C та розробити режим відпалу, який дозволяє якісно підготувати сталь до механічної обробки;

2) встановлено, що за рахунок введення до 5 % нікелю у хімічний склад литої сталі марки 4X3M3Ф (без додавання мангану та мікролегуювання азотом), вдалось знизити критичну температурну точку A_{c3} і забезпечити існування аустенітної структури в інтервалі експлуатаційних температур 900-950 °C при гарячому деформуванні мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ5-1, що дозволило підвищити стійкість інструменту у три рази, у порівнянні з матрицями з деформованої сталі марки 3X3M3Ф, яка використовувалась на виробництві;

3) встановлено, що при попередньому нагріванні сталі 4X3H5M3Ф до температур 400-450 °C в процесі експлуатації при гарячому деформуванні мідно-нікелевого сплаву, відбувається розігрів робочої частини матриці до температури вище критичної точки A_{c3} ;

4) розроблена сталь марки 4X4H5M4Ф2 і режими її термічної обробки, дозволили підвищити теплостійкість при одержанні виробів гарячим деформуванням (волочіння) міді за робочих температур < 650 °C, завдяки чому зменшились величини розгарних тріщин і стало можливим збільшення величини робочого профілю матриці та продовження гарячого деформування міді після повного циклу експлуатації при виготовленні меншого профілю;

5) розроблені режими термо-деформаційної обробки сталі марки 4X4H5M4Ф2, дали змогу, за відсутності оберненої відпускнуої крихкості, успішно експлуатувати крупногабаритні деталі, у вигляді колес екструдерів, за робочих температур гарячого деформування міді марки М1 (< 630 °C);

6) розроблені режими остаточної термічної обробки (гартування та відпуск) литої сталі марки 4X4H5M4Ф2, дали змогу, за відсутності необерненої відпускнуої крихкості, успішно

експлуатувати матриці для гарячого деформування алюмінієвого сплаву марки АК7ч за робочої температури $< 450\text{ }^{\circ}\text{C}$;

7) розроблено технологію виготовлення матриць із сталі з регульованим аустенітним перетворенням під час експлуатації з підвищеним ресурсом експлуатації в широкому інтервалі робочих температур – вище критичної точки A_{c3} ($850\text{ }^{\circ}\text{C}$) для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву та нижче критичної точки A_{c1} ($700\text{ }^{\circ}\text{C}$) гарячого деформування міді та алюмінієвого сплаву.

4. Вірогідність і обґрунтованість результатів, положень та висновків забезпечується використанням сучасних експериментальних та аналітичних методів досліджень таких як: хімічний та X-променевий фазовий аналізи сталі та скануюча електронна мікроскопія для дослідження мікроструктури. Метод розрахунку фазових діаграм CALPHAD (calculation of phase diagrams), щоб будували прогнозну діаграму з використанням термодинамічної інформації фазових рівноваг в системі, яка представлена у вигляді пакетів, зокрема для сталей. Визначення критичних точок A_{c1} та A_{c3} для досліджуваної сталі проводили за методом дилатометричного аналізу. Питомий електричний опір сталі вимірювали за допомогою двоканального цифрового електричного вимірювального чотирьохзондового тестера ST2263. Ударну в'язкість сталей визначали на випробувальній машині для матеріалів NI300. Границю міцності та границю плинності, відносно подовження та відносно звуження сталей визначали за стандартною методикою випробування на розтяг на універсальній машині GNT50. Випробування на одновісне стиснення при нагріві зразків проводили на універсальній установці "CERAMTEST" (UTM-100). При кількості вимірювань трьох і більше значень проводилась статистична обробка у такому порядку: визначали абсолютну статистичну похибку; розраховували середнє арифметичне значення результатів вимірювань, отриманих в одних і тих же умовах; розраховували середньоквадратичне відхилення виміряної величини та її довірчий інтервал.

5. Особистий внесок здобувача. У дисертації узагальнено результати досліджень, які було отримано за безпосередньої участі автора. Автор самостійно було проведено оптимізацію режимів термічної та деформаційної обробки штампових сталей з проведенням дослідження структури та фізико-механічних властивостей. Автор приймав участь у дослідно-промислових випробуваннях інструменту з дослідних штампових сталей для гарячого деформування мідно-нікелевого сплаву марки МНЖ5-1, міді марки М1 та алюмінієвого сплаву АК7ч на українських та китайських підприємствах.

6. Матеріали дисертації повною мірою викладено 38 наукових праць, з яких 6 статей у провідних наукових фахових виданнях, що віднесені до квартилів Q2 та Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 19 публікацій, що входять до переліку фахових видань України, 2 патенти та 11 публікацій за матеріалами доповідей, які розглядалися на конференціях. Всі надруковані праці за темою дисертації виконані автором особисто та у співавторстві.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Список публікацій здобувача в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

matmii в журналах, включених до міжнародних наукових баз (Scopus, Chemical Abstracts Service and Country Rank).

1. Гогаєв К.О., Сидорчук О.М., Радченко О.К., Карпець М.В., Пятачук С.Г. Структура та властивості загартованої сталі 40X3H5M3Ф, одержаної електрошлаковим перетопленням за високих температур // Металлофізика и новейшие технологии – 2015. т. 37. № 12. – С. 1653-1661.

<http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/112459>

2. Bykov O. X-Ray Analysis of Features of Both Crystalline Structure of Main Phases Formation and Properties of 4Kh4N5M4F2 Steel (RATE Steel) at Handling / O. Bykov, O. Sydorchuk, L. Myroniuk, D. Myroniuk, H. Shvedova, V. Konoval, S. Korichev, A. Pozniy //

Metallophysics and Advanced Technologies – 2021. Vol. 43. No. 11. – P. 1523-1536.
<https://doi.org/10.15407/mfint.43.11.1523>

3. Gogaev K. Die steel with regulated austenitic transformation for hot deformation of copper-nickel alloy / K. Gogaev, O. Sydoruk // Science and Innovation – 2022. Vol. 18. No. 11. – P. 23-27.

<https://doi.org/10.15407/scine18.03.023>

4. Sydoruk O. Structure and properties of forged steel with regulated austenite transformation / O. Sydoruk, O. Myslyvchenko, K. Gogaev, Ye. Hongguang // Materials Science – 2022. V. 58. – P. 119-125.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-022-00639-1>

5. Gogaev K. The Influence of operating conditions on the structure and mechanical properties of die 4Kh4N5M4F2 steel / K. Gogaev, O. Sydoruk, O. Myslyvchenko, Y. Yevych, Ye. Hongguang // Materials Science. – 2023. V. 59. – P. 158-162.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-024-00757-y>

6. Sydoruk O. Tempering brittleness of die 4Kh4N5M4F2 steel / O. Sydoruk, K. Gogaev, O. Radchenko, M. Askerov, V. Bondarchuk // Materials Science. – 2024. V. 59. – P. 644-647.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-024-00822-6>

Публікації, що входять до переліку фахових видань України.

7. Сидорчук О.М. Фазово-структурний стан сталі 40Х3Н5М3Ф в процесі перекристалізації // Современные проблемы физического материаловедения. Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия "Физико-химические основы технологии порошковых материалов", Киев – 2013. Выпуск 22. – С. 186-188.

8. Гогаєв К.О. Штампова сталь для гарячого деформування з регулюванням аустенітним перетворенням, одержана електрошлаковим литтям / К.О. Гогаєв, О.М. Сидорчук, О.К. Радченко, А.А. Мамонова, О.Ю. Коваль, В.В. Лук'янчук // Металознавство та обробка металів – 2014. № 1. – С. 40-45.

9. Гогаєв К.О. Технологія виготовлення штампової сталі 40Х3Н5М3Ф для гарячого деформування / К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, О.М. Сидорчук, В.В. Лук'янчук // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ – 2015. С. 669-672.

10. Гогаєв К.О. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування / К.О. Гогаєв, О.М. Сидорчук, О.К. Радченко // Металознавство та обробка металів – 2016. № 3. – С. 18-24.

11. Гогаєв К.О. Дослідження режимів термічної обробки штампової сталі 4Х3Н5М3Ф / К.О. Гогаєв, О.М. Сидорчук, О.К. Радченко, В.В. Лук'янчук, Г.Г. Орел // Современные проблемы физического материаловедения. Труды института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия "Физико-химические основы технологии порошковых материалов", Киев – 2016. Выпуск 25. С. – 105-108.

12. Гогаєв К.О. Розробка наукових і технологічних основ виготовлення формотворного штампового інструменту на основі створення і використання нових перспективних сталей і ливарно-деформаційних методів їх обробки / К.О. Гогаєв, О.П. Ласконов, О.К. Радченко, Л.Р. Дудецкая, О.М. Сидорчук // Анотований збірник проєктів спільного конкурсу ДФФД-БРФФД. – К.: Академперіодика, 2017. – С. 125-128.

13. Сидорчук О.М. Підвищення теплостійкості та властивостей штампової сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації / О.М. Сидорчук, Д.В. МIRONIUK, О.К. Радченко, К.О. Гогаєв, Є. Хонгтуанг // Металознавство та обробка металів – 2019. № 2. – С. 19-25.

14. Сидорчук О.М. Термічна обробка штампової сталі підвищеної стійкості / О.М. Сидорчук, К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, Л.А. МIRONIUK, Д.В. МIRONIUK // Металознавство та обробка металів – 2020. № 2. – С. 29-37.

15. Сидорчук О.М. Штампова кована сталь 4X4H5M4Ф2 підвищеної стійкості / О.М. Сидорчук, Л.А. Миرونюк, Д.В. Миرونюк, К.О. Гогаєв, О.К. Радченко // *Металознавство та обробка металів* – 2020. № 4. – С. 3-11.

16. Сидорчук О.М. Лита сталь з регульованим аустенітним перетворенням під час експлуатації, одержана електрошлаковим переплавом / О.М. Сидорчук, А.А. Мамонова, В.В. Лук'янчук, К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, Л.А. Миرونюк, В.П. Коновал, Г.Л. Шведова, Д.В. Миرونюк // *Успіхи матеріалознавства* – 2020. № 1. – С. 77-85.

17. Сидорчук О.М. Властивості штампової сталі 4X4H5M4Ф2 для гарячого деформування кольорових металів та сплавів // *Вісник Вінницького політехнічного інституту* – 2021. № 1. – С. 108-112.

18. Сидорчук О.М. Вплив термічної обробки на штампову сталь 4X4H5M4Ф2 та встановлення її фізико-механічних властивостей // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія “Нові рішення в сучасних технологіях”* – 2021. №1. – С. 34-38.

19. Сидорчук О.М. Сталь з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації // *Металознавство та обробка металів* – 2021. № 2. – С. 47-53.

20. Сидорчук О.М. Одержання трубних заготовок з мідно-нікелевого сплаву МНЖ5-1 при використанні інструменту з штампової сталі регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, Запорізький національний технічний університет*. – 2021. № 1. – С. 23-28.

21. Сидорчук О.М. Лита штампова сталь 4X4H5M4Ф2 для прес-форм гарячого пресування міді М1 та алюмінієвого сплаву АК7ч // *Успіхи матеріалознавства* – 2021. № 1. – С. 54-62.

22. Сидорчук О.М. Відпускна крихкість штампової литої сталі 4X4H5M4Ф2 / О.М. Сидорчук, О.І. Биков, А.П. Позній // *Металознавство та обробка металів* – 2021. – № 3. – С. 57-61.

23. Сидорчук О.М. Технологічні основи виготовлення інструменту з штампової сталі 4X3H5M3Ф // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, Запорізький національний технічний університет* – 2021. № 2. – С. 17-20.

24. Сидорчук О.М. Штампова сталь для гарячого деформування міді // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, Запорізький національний технічний університет*. – 2022. № 1. – С. 49-52.

25. Сидорчук О.М. Штампова сталь 4X4H5M4Ф2 (без технології кування) для гарячого деформування алюмінієвого сплаву // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, Запорізький національний технічний університет* – 2022. № 2 – С. 46-49.

Патенти.

26. Гогаєв К.О. Спосіб термічної обробки сталі для гарячого пресування / К.О. Гогаєв, О.М. Сидорчук, О.К. Радченко, В.В. Лук'янчук // Патент, № 94746, Україна UA, МПК C21D 8/00. – опубл. 25.11.2014.

27. Гогаєв К.О. Штампова сталь / К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, О.М. Сидорчук, Д.В. Миرونюк // Патент, № 141447, Україна UA, МПК C22C 38/00. – опубл. 10.04.2020.

Праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації.

28. Sydoruk O. The new tool steel for warm die forming of Al and Cu alloys / O. Sydoruk, D. Myroniuk, Hongguang Ye, G. Bagliuk // 10th International conference «Advanced materials and technologies: From idea to market», Ninghai, China – 2018. – Oct. 24-26, P. – 52.

29. Sydoruk O. M. The manufacture of die-casting tool for mold casting of copper and copper alloys / O. Sydoruk, D. Myroniuk, Hongguang Ye, G. Bagliuk // 10th International conference «Advanced materials and technologies: From idea to market», Ninghai, China – 2018. – Oct. 24-26, P. – 139.

30. Сидорчук О.М. Штампова сталь для гарячого деформування кольорових металів та сплавів. Тез. допов. конференцій молодих учених «Інноваційні технологічні рішення в науково-дослідницькій роботі молодих вчених ВФТПМ», с. Сичавка, Одеська обл., Україна – 2021. – 3-5 вересня, С. 28-32.

31. Сидорчук О.М. Структура та властивості кованої сталі 4X4H5M4Ф2 з

регульованим аустенітним перетворенням / О.М. Сидорчук, К.О. Гогаєв, О.М. Мисливченко, A.I. Avetisyan, Hongguang Ye, «Ювілейна конференція 30 років Інституту електронної фізики НАН України» м. Ужгород, Україна – 2022. – 21-23 вересня, С. 224-226.

32. Sydorchuk O, Die steel for hot deformation of copper and copper alloys / O. Sydorchuk, G. Bagliuk, D. Myroniuk, O. Myslyvchenko, Hongguang Ye. // 8th International BAPT Conference «Power Transmissions 2022» MATEC Web of Conferences, 04003 – 2022. – P. 366.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/202236604003>

33. Сидорчук О.М. Одержання штампових сталей 4Х3Н5М3Ф та 4Х4Н5М4Ф2 електрошлаковим переплавом з урахуванням оптимальних режимів термічної обробки / О.М. Сидорчук, К.О. Гогаєв, В.В. Лук'янчук Всеукраїнська науково-технічна конференція «Наука і металургія» Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпро, Україна – 2022. – 22-24 листопада, С. 61-63.

34. Сидорчук О.М. Часткова перекристалізація штампової сталі (4Х4Н5М4Ф2) з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації / О.М. Сидорчук, К.О. Гогаєв, В.В. Лук'янчук, О.К. Радченко, A.I. Avetisyan, Hongguang Ye // Міжнародний науково-практичний журнал «WeeScience» 4th International Scientific and Practical Internet Conference «Integration of education, science and business in modern environment: winter debates», м. Дніпро, Україна – 2023. – 23-24 лютого, С. 257-258.

35. Сидорчук О.М. Структура та властивості штампової сталі для гарячого деформування кольорових металів та сплавів / О.М. Сидорчук, Я.І. Євич, О.М. Мисливченко, Д.В. Миронюк, Л.А. Миронюк // Металеві матеріали їх виробництво та перспективи застосування в сучасній промисловості: матеріали ІХ науково-практичної конференції молодих вчених України, ФТІМС НАН України, м. Київ, Україна – 2023. – 18-19 травня, С. 55-57.

36. Сидорчук О.М. Сталь з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації для гарячого деформування мідного сплаву марки МНЖ 5-1 // Матеріали XXVI міжн. наук.-практ. конф., «Технологія – 2023», Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, м. Київ, Україна – 2023. – 26 травня, С. 164-165.

37. Сидорчук О.М. Відпускна крихкість штампової сталі 4Х4Н5М4Ф2 (без високотемпературної механічної обробки) / О.М. Сидорчук, К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, М. Гейбат огли Аскеров, Ю.М. Подрезов, Я.І. Євич // Міжн. конф., «Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023)», Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна – 2023. – 16-18 травня, С. 240-241.

38. Сидорчук О.М. Оптимізація режимів термічної обробки сталі з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації для гарячого деформування кольорових металів та сплавів / О.М. Сидорчук, К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, Д.В. Миронюк, A.I. Avetisyan, Hongguang Ye // Матеріали ІІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету «НТКП ВНТУ-2023», м. Вінниця, Україна – 2023. – 21-23 червня, С. 2779-2781.

Вважаємо, що дисертація Сидорчука О.М. «Розвиток наукових засад формування структури та властивостей при виготовленні штампових сталей для гарячого деформування міді, мідно-нікелевих та алюмінієвих сплавів», на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 (Матеріалознавство) виконана на високому науковому рівні і відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» та профілю спеціалізованої вченої ради Д26.207.03. У докторській дисертації та наукових працях, які розкривають її результати, відсутні академічний плагіат, фабрикації та фальсифікації.

Робота може бути рекомендована до захисту на спеціалізованій вченій раді Д26.207.03 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Рекомендуються офіційні опоненти:

І. Доктор технічних наук, професор Санін Анатолій Федорович, декан Фізико-технічного

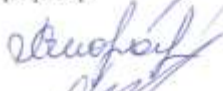
- факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара
2. Член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук Квасинська Юлія Георгіївна
завідувачка відділу "Спеціальних сталей та сплавів" Фізико-технологічного інституту
металів та сплавів НАН України
 3. Член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук Бабаченко Олександр Іванович,
директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Автореферат відповідає змісту дисертації і може у поданому вигляді бути надрукований.

Висновок комісії затверджено на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.207.03

від " 10 " березня 2025 р., протокол № 5.

Члени комісії:

Доктор технічних наук, професор		Олександр УМАНСЬКИЙ
Доктор технічних наук		Марина СТОРОЖЕНКО
Доктор технічних наук		Геннадій ФРОЛОВ