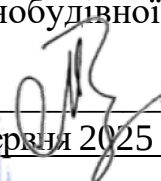


ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Донбаської державної
машинобудівної академії



 Михайло ТУРЧАНІН
23 червня 2025 р.

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації «Розробка самозахисного порошкового дроту для
наплавлення деталей з високоманганової сталі»
здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
132 Матеріалознавство (галузь знань 13 Механічна інженерія)
Трембача Іллі Олександровича
наукового семінару кафедри «Обладнання і технології зварювального
виробництва»**

1. Актуальність теми дисертації

Проблема підвищення якості, надійності і довговічності обладнання для видобутку корисних копалин є пріоритетною задачею матеріалознавства. На сучасному етапі актуальним є розробка нових матеріалів для наплавлення, які окрім підвищення експлуатаційної стійкості також забезпечують ефективність зміцнення, що дозволяють підвищити рівень фізико-механічних і експлуатаційних властивостей зміцненого та відновленого обладнання.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямками Академії та кафедри

Дисертаційна робота виконана згідно плану науково-дослідної роботи кафедри «Обладнання та технологій зварювального виробництва» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) у рамках держбюджетної теми Дк-04-2019 «Підвищення ефективності застосування екзотермічних сумішей при електродуговому зварюванні та електрошлакових процесах» (№ держреєстрації 0119U103451 2019-2024 рр.).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Аспірантом Трембачем І.О. сформульовані і обґрунтовані цілі роботи, проведені теоретичні дослідження, підготовлені і проведені лабораторні дослідження, оброблені і проаналізовані результати експериментів, сформульовані висновки, підготовлені статті до друку. Здобувачем проаналізовано сучасний стан проблеми підвищення зносостійкості деталей машин, що працюють в умовах ударно-абразивного зносу, зроблено відповідні висновки та сформульовано задачі дослідження, вирішення яких забезпечить суттєве підвищення зносостійкості деталей машин.

Визначено вплив легування на структуру аустенітної матриці, розглянуто

співвідношення карбідоутворюючих елементів та вуглецю в мангановій сталі, досліджено комплексний вплив Cr, Ti та Mn на зносостійкість високоманганової сталі, а також показано, що її зносостійкість в умовах ударно-абразивного зносу залежить від $\gamma \leftrightarrow \alpha$ перетворень при деформуванні.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Наукові досягнення за роботою для науки такі цінні результати: 1) Розроблений і рекомендований для відновлення деталей, які працюють в умовах ударно-абразивного зносу, новий високовуглецевий середньомангановий сплав типу 140Г6ХЗТ. 2) Розроблено технологію виготовлення та наплавлення СПД з ЕД в наповнювачі, яка забезпечує отримання задовільної якості наплавленого металу на робочих поверхнях хрестовин стрілочних переводів і черпаків живильника. 3) Технологія зміцнення цих виробів з використанням зносостійкого сплаву 140Г6ХЗТ прийнята у виробництво на ПрАТ «ПОБЕРЕЗЬКИЙ ЗАВОД ПРЕСОВИХ АГРЕГАТІВ», що підтверджено актом випробування та виробничого впровадження.

Практична цінність результатів роботи полягає у підвищенні зносостійкості, а також зниженні витрат на виробництво. Новий сплав доцільно використовувати для відновлення та зміцнення деталей машин, так як його зносостійкість після наплавлення в порівнянні з прототипом ПП-АН105 (ПП-Нп-90Г13Н4) в 3,1 рази вища, а в порівнянні зі сталлю 110Г13Л вище в 1,6 рази.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

1) Вперше розроблено склад наповнювача самозахисного порошкового дроту з додавання екзотермічного додатка ($\text{MnO}_2 + \text{Al}$), та її кількісні межі (30%), що забезпечують перебіг екзотермічної реакції з тепловим ефектом 4,85 кДж/г. 2) Доведено доцільність використання в складі наповнювача СПД манганової руди, найпоширенішим мінералом якої є MnO_2 , в якості окислювача екзотермічної суміші, що дозволяє за рахунок утворення екзотермічного ефекту забезпечити: зниження хімічної неоднорідності наплавленого металу, покращення морфології неметалевих включень, зменшення розміру зерна, а також забезпечує додаткове легування наплавленого металу манганом за рахунок відновлення його з оксиду. 3) Вперше встановлено, що максимальне збільшення мікротвердості в деформованому абразивом поверхневому шарі спостерігається в сплавах, що вміщують 5...6 % Mn. 4) Показано, що висока зносостійкість наплавленого металу в умовах ударно-абразивного зношування досягається за наявності в наплавленому металі аустенітної матриці, карбонітриду титану та евтектики ($\text{Cr}_7\text{C}_3 + \alpha\text{-Fe}$) яка складає основу при наявності не більше 30% метастабільного аустеніту і залежить від його характеристик та параметрів деформування. 5) Доведено, що працездатність наплавленого металу системи Fe-Mn-Cr-C-Ti в умовах ударно-абразивного зношування залежить від релаксаційних властивостей металу, контролюється мікромеханізмами перетворення структури в умовах деформування і залежить від легування та модифікування металу.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

1. Trembach B. O., Grin O. G., Trembach I. A. Determination of the optimum combination of the physical properties of the slags system $\text{CaO-CaF}_2\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$. *International periodic scientific journal. Modern scientific researches*. Part.1. 2017. №13. p. 214–219. (Index Copernicus) DOI: 10.21893/2227-6920.2017-13.039

2. Trembach B., Grin A., Zharikov S., Trembach I. Investigation of characteristic of powder wire with the CuO / Al exothermic mixture. *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: TNTU, 2018. Т. 92. No 4. С. 13–23. (фахове видання, Б) DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.013

3. Гринь О. Г., Трембач І. О. Багатокритеріальний аналіз наплавочних матеріалів для відновлення і зміцнення деталей. *Обробка матеріалів тиском*: збірник наукових праць. Краматорськ. ДДМА, 2022. № 1 (51). 228 с. С. 196–203. (фахове видання України, Б) DOI: [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1\(51\)196](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1(51)196)

4. Трембач І. О., Трембач Б. О., Гринь О. Г., Лужецький Р. Я., Бречко В. О., Заковоротний О. Ю., Баленко О. І., Молчанов Г. І., Реброва О. М., Кабацький О. В. Застосування повного факторного експерименту для оптимізації коефіцієнта заповнення та густини шихти самозахисного порошкового дроту. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2024. Т. 60, № 4. С. 52–59. (фахове видання України, А) URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001508512>

5. Trembach B., Grin A., Trembach I. Study of the influence of the addition of an exothermic mixture and the ratio of the components of the exothermic mixture on the melting indices at FCAW. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. 2020. Т. 6. №. 1. С. 47–53. (фахове видання України, Б) DOI: <https://doi.org/10.23939/ujmms2020.01.047>

6. Trembach B., Grin A., Makarenko N., Zharikov S., Trembach I., Markov O. Influence of the core filler composition on the recovery of alloying elements during the self-shielded flux-cored arc welding. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9. № 5. P. 10520-10528. (Scopus, Q1) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.052>

7. Trembach B., Grin A., Turchanin M., Makarenko N., Markov O., Trembach I. Application of Taguchi method and ANOVA analysis for optimization of process parameters and exothermic addition (CuO-Al) introduction in the core filler during self-shielded flux-cored arc welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. Vol. 114. P. 1099-1118. (Scopus, Q1) DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06869-y>

8. Trembach, I.O., Trembach, B.O., Grin, A.G. et al. Application of a complete factorial experiment for optimization of the filling factor and charge density of self-shielding flux-cored powder wire. *Mater Sci* (2025). (Scopus, Q3) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00904-z>

9. Trembach, B.; Trembach, I.; Grin, A.; Makarenko, N.; Babych, O.; Knyazev, S.; Musairova, Y.; Krbata, M.; Balenko, O.; Vorobiov, O.; et al. Study of the Effects of Hardfacing Modes Carried out by FCAW-S with Exothermic Addition of $\text{MnO}_2\text{-Al}$ on Non-Metallic Inclusions, Grain Size, Microstructure and Mechanical Properties. *Eng* 2025, 6, 125. (Scopus, Q2) DOI: <https://doi.org/10.3390/eng6060125>

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

1. Трембач І. О., Гринь О. Г. Перспективи використання екзотермічної добавки $\text{MnO}_2\text{+Al}$ в осерді самозахисного порошкового дроту для наплавлення високоманганової сталі. *Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування*: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 12-14 квітня 2023 р. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić – Краматорськ: ДДМА, 2023. – 324 с. С. 263–268.

2. Трембач І. О., Гринь О. Г. Мультифазна структура манганової сталі – запорука підвищення її зносостійкості. *Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування*: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 20 червня 2022 р. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and

Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić– Краматорськ : ДДМА, 2022. – 226 с. С. 194–197.

3. Гринь О. Г., Трембач І. О. Перспективні матеріали для підвищення стійкості деталей, що зазнають ударно-абразивний вплив. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 21-24 грудня 2020 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2020. 23 с.

4. Гринь О. Г., Трембач І. О. Аналіз сплавів для наплавлення, рекомендованих EN 14700:2014. *Зварювання та споріднені технології: перспективи розвитку* : тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, (Краматорськ, 19–20 жовт. 2021 р.) / МОН України [та ін.]; за заг. ред. д-ки техн. наук Н. О. Макаренко. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 75 с.

5. Трембач І.О., Гринь О.Г. ВИБІР СИСТЕМИ ЛЕГУВАННЯ СПЛАВІВ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ЗНОСУ. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*. Матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції 20 – 22 червня 2023 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ-Тернопіль: ДДМА, 2023. – 152 с. С. 117.

6. Гринь О.Г., Трембач І.О., Жаріков С.В. ВПЛИВ ПЛАВКОСТІ ШЛАКІВ НА РІВНОМІРНІСТЬ ПЛАВЛЕННЯ САМОЗАХИСНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ. *Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві*. Матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції, 25–27 вересня 2023 р. / під заг. ред. А. М. Фесенка, М. А. Турчаніна. - Краматорськ: ДДМА, 2023. 179 с. С. 36-38.

7. Трембач І.О., Гринь О.Г. ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАНГАНОВОЇ РУДИ В СКЛАДІ САМОЗАХИСНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ. *Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві*. Матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції, 25–27 вересня 2023 р. / під заг. ред. А. М. Фесенка, М. А. Турчаніна. Краматорськ: ДДМА, 2023. 179 с. С. 118-120.

8. Гринь О.Г., Жаріков С.В., Трембач І.О., Гайворонський О.О., Дудинський О.Д. Дослідження процесу легування металу манганом на стадіях дугового процесу зварювання. *Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві*: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, 15–18 жовтня 2019 р. / під заг. ред. А. М. Фесенка, М. А. Турчаніна. Краматорськ. ДДМА, 2019. 240 с. с. 67–68.

9. Гринь О.Г., Трембач І.О., Воропась Є.В. Підвищення ефективності використання оксидів рідкоземельних металів в складі порошкового дроту. *Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування*: зб. наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 10-12 квітня 2024 р. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić – Краматорськ: ДДМА, 2024. – 294 с. С. 141–146.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

1) вперше встановлено та обґрунтовано склад самозахисного порошкового дроту з додаванням екзотермічного додатку $MnO_2 + Al$ у шихту наповнювача СПД, та її кількісні межі (30%), що забезпечують перебіг екзотермічної реакції з тепловим ефектом 4,85 кДж/г, достатнім для утворення мікроструктури наплавленого металу, яка являє собою аустенітну матрицю з дисперсними карбідами (Cr, Ti, Mn). 2) Доведено доцільність використання в складі наповнювача СПД манганової руди в якості окислювача. 3) Встановлено, що максимальне збільшення мікротвердості в деформованому абразивом поверхневому шарі спостерігається в сплавах, що вміщують 5...6 % Mn. 4) Висока зносостійкість наплавленого металу в умовах ударно-абразивного зношування досягається за наявності в наплавленому металі аустенітної матриці, карбонітриду

титану та евтектики ($\text{Cr}_7\text{C}_3 + \alpha\text{-Fe}$) яка складає основу при наявності не більше 30% метастабільного аустеніту і залежить від його характеристик та параметрів деформування.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Розроблений самозахисний порошковий дріт є корисним для підприємства гірничо-збагачувальних ГОКів, а також для машинобудування, де використовуються деталі із високоманганового сталі. Результати НДР випробовані та реалізовані на ПрАТ «ПОБЕРЕЗЬКИЙ ЗАВОД ПРЕСОВИХ АГРЕГАТИВ». Зацікавленість у результатах роботи підтверджена актом випробування та впровадження від ПрАТ «Енергомашспецсталь».

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Структура дисертації класична, присутні теоретичні та експериментальні дослідження окремими розділами, висновки. Є промислове випробування та впровадження у виробництво. Робота написана грамотно та чітко, державною мовою. Терміни відповідають загальному признанню серед фахівців з обробки тиском. Дисертація за структурою, мовою, стилем написання відповідає вимогам МОН України, які висуваються до дисертацій на здобуття кваліфікації докторів філософії. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (159 найменування на 10 сторінках), 12 додатків (на 12 сторінках), містить 38 таблиць (на 17 сторінках), 74 рисунків (на 43 сторінках). Основний текст роботи викладено на 128 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 212 сторінку.

11. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри «Обробка металів тиском» ухвалили:

11.1. Дисертація Трембача Іллі Олександровича здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії «Розробка самозахисного порошкового дроту для наплавлення деталей з високоманганової сталі» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання розробки складу наповнювача самозахисного порошкового дроту для наплавлення високоманганових сталей, працюючих в умовах ударно-абразивного навантаження, що має важливе значення для ГЗГ та машинобудування України.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі є логічними, послідовними, аргументованими, достовірними, достатньо обґрунтованими. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 7 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 3 статей у наукових фахових виданнях України;

2 статті у виданнях які входять до міжнародних наукометричних баз. Отримано 2 патенти на корисну модель України.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6.3 урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Трембача І. І. дисертація «Розробка самозахисного порошкового дроту для наплавлення деталей з високоманганової сталі» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	13	(тринадцять)
проти	0	(немає)
утримались	0	(немає)

Головуючий на засіданні
завідувачка кафедри
ОТЗВ кафедри,
д-р техн. наук, професорка
посада, науковий ступінь, вчене звання



підпис

Наталія МАКАРЕНКО
ПІБ

Зав. кафедрою ОТЗВ
д-р техн. наук, професорка
посада, науковий ступінь, вчене звання



підпис

Наталія МАКАРЕНКО
ПІБ

"23" червня 2025р.