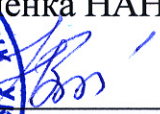


ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України
академік НАН України  Зіновій НАЗАРЧУК
«» 2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації «Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробах шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану» (у вигляді кваліфікаційної наукової праці) докторанта Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, кандидата технічних наук, старшого дослідника ГВОЗДЕЦЬКОГО Володимира Миколайовича представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство

Призначені рішенням Вченої ради Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України рецензенти, а саме:

- **ОСТАШ Орест Петрович**, завідувач лабораторії структурної механіки руйнування відділу водневих технологій та матеріалів альтернативної енергетики Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, професор,
- **КРЕЧКОВСЬКА Галина Василівна**, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, старший дослідник,
- **ТРУШ Василь Степанович**, старший науковий співробітник відділу матеріалознавчих основ інженерії поверхні Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доктор технічних наук, старший дослідник,

розглянувши докторську дисертацію ГВОЗДЕЦЬКОГО Володимира Миколайовича «Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробах шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану» (тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України «18» травня 2023 р., протокол № 5 та уточнено «22» травня 2025 р., протокол № 4),

наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, а також за результатами обговорення дисертаційної роботи у повному обсязі на науково-кваліфікаційному семінарі «Проблеми матеріалознавства та інженерії поверхні металів» Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України (протокол № 2 від 05 червня 2025 р.), підготували висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів, представлених у докторській дисертації:

1. Дисертація ГВОЗДЕЦЬКОГО Володимира Миколайовича, представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство, є кваліфікаційною науковою працею, яка відповідає принципам академічної доброчесності, підготовлена здобувачем самостійно з послідовним викладом отриманих результатів та формулюванням відповідних висновків. За обсягом, актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю робота відповідає вимогам п. 7, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

2. Актуальність теми дослідження

Вироби із сталей та алюмінієвих сплавів широко використовують у промисловості. Проте низька твердість та зносостійкість сплавів алюмінію стримують їх ширше застосування. Останнім часом намітилась тенденція щодо заміни сталей на алюмінієві сплави із зносостійкими покриттями. Серед технологій поверхневого зміцнення алюмінієвих сплавів та сталей найчастіше використовують такі методи: тверде анодування (ТА), плазмо-електролітне оксидування (ПЕО), газотермічне напилювання покриттів. Вагомий вклад у розвиток цих технологій внесли Ю. С. Борисов, М. Д. Клапків, В.М. Коржик, Г.М. Никифорчин, В.І. Похмурський, М.М. Студент, М. Bozza, A. Curran, J. Davis, P. Kwolek, T. Lampke. Проте вони мають суттєві обмеження, а саме: мікротвердість анодованих шарів не перевищує 400 HV_{0,1}, а їх товщина – 60 мкм, що не достатньо для високого опору зношування; плазмоелектролітні оксидні шари можна синтезувати лише на малогабаритних деталях, а фізико-механічні характеристики газотермічних покриттів із нових шихтових матеріалів на основі карбіду бору для відновлення алюмінієвих сплавів та сталей є недосліджені. Це обмежує можливості для створення покриттів з наперед заданими функціональними властивостями на виробах із алюмінієвих сплавів та сталей.

У представленій роботі запропоновано шляхи вдосконалення перелічених методів зміцнення нових та відновлення зношених поверхонь деталей. Зокрема, нові деталі рекомендовано анодувати за стаціонарного та імпульсного режимами з модифікуванням базового сульфатного електроліту, тоді як суттєво зношені невеликі елементи пропонується відновлювати синтезом ПЕО шарів на газотермічних покриттях, а у випадку габаритних деталей використовувати надзвукове електродугове напилювання покриттів (ЕДП).

Таким чином, розроблення покриттів із підвищеною зносостійкістю на виробах з алюмінієвих сплавів і сталей на стадіях їх виготовлення та відновлення залишається актуальною і важливою науково-технічною проблемою сучасного матеріалознавства, вирішення якої розширить спектр застосування методів зміцнення та відновлення виробів у відповідальних конструкціях.

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

Робота спочатку виконувалась у відділі поверхневого зміцнення конструкційних матеріалів, а після реорганізації відділів продовжувалась у відділі матеріалознавчих основ інженерії поверхні Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України. Представлені в роботі результати були отримані під час виконання різних тем НАН України, в яких дисертант був: *керівником* “Використання надзвукового повітряного струменю для напилення електродугових покриттів системи Fe-Cr-B” (№ держреєстрації 0118U000466, 2018 р.); *відповідальним виконавцем* “Розроблення електрометалізаційного устаткування та новітніх витратних матеріалів для нанесення захисних і відновних покриттів на деталі відповідального обладнання” (№ держреєстрації 0116U006155, 2016 р.); “Розроблення методів синтезу плазмоелектролітних оксидних шарів з підвищеними функціональними характеристиками на ливарних алюмінієвих сплавах” (№ держреєстрації 0120U101791, 2020 р.); “Розроблення високовольтного імпульсного методу синтезу твердих анодних зносостійких шарів на конструкційних алюмінієвих сплавах” (№ держреєстрації 0122U001891, 2022-2023рр.); *виконавцем* “Розробка наукових основ інтенсифікації синтезу оксидокерамічних покриттів на алюмінієвих сплавах”, (№ держреєстрації 0117U000518, 2017р.); “Розроблення комбінованих металооксидних покриттів на основі алюмінію з підвищеною зносо- та корозійною тривкістю” (№ держреєстрації 0117U000527, 2017 р.); “Розробка нових електродних матеріалів, методів відновлення і захисту тонкостінних деталей обладнання, які експлуатуються в умовах абразивного та газоабразивного зношування” (№ держреєстрації 0116U006347, 2016 р.; № держреєстрації 0117U000727, 2017 р.; № держреєстрації 0118U000481, 2018 р.; № держреєстрації 0119U101183, 2019 р.; № держреєстрації 0120U101647, 2020 р.); “Розроблення методів синтезу твердих анодних зносостійких шарів на конструкційних алюмінієвих сплавах” (№ держреєстрації 0120U100779, 2020 р.); “Розроблення зносостійких композиційних електродугових покриттів для відновлення деталей типу "вал" (вісь) порожнистого або суцільного перетину для продовження терміну їх експлуатації” (№ держреєстрації 0121U110371, 2021 р.); “Концепція відновлення та подовження експлуатаційного ресурсу обладнання найважливіших галузей народного господарства України” (№ держреєстрації 0123U103486, 2023 р.).

4. Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів

В дисертаційній роботі постановка і обґрунтування завдань досліджень,

узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень, формулювання положень наукової новизни та висновків здійснено автором самостійно. Структура та обсяг дисертаційної роботи обговорювались спільно з науковим консультантом доктором технічних наук, професором М. М. Студентом.

У публікаціях, написаних у співавторстві, В. М. Гвоздецькому належать: обґрунтування складу окисників для модифікування сульфатного електроліту та збільшення кількості іонів кисню під час синтезу анодованого шару; встановлення зміни кількості молекул води під час термічної обробки анодованих шарів; визначення впливу температури електроліту на властивості анодованих шарів; розроблення порошкових дротів з алюмінієвою оболонкою для напилення покриттів легованих Mg, Ni, Ti, Cu для утворення евтектик на основі суміші оксидів під час синтезу плазмоелектролітного оксидного шару; розроблення та виготовлення системи розпилення надзвукових повітряним струменем розплаву електродних дротів із нових розроблених порошкових дротів із екзотермічною шихтою; напилення покриттів з наперед заданими функціональними характеристиками; дослідження фізико-механічних властивостей покриттів, визначення їх опору та механізмів зношування.

5. Ступінь використання у дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача

У докторській дисертації ГВОЗДЕЦЬКОГО Володимира Миколайовича «Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробках шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану» матеріали кандидатської дисертації «Розроблення електродугових покриттів базової системи Fe–Cr–B–C–Al для підвищення жаростійкості та абразивної зносостійкості сталей» не використовувались.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, які сформульовані в дисертації

Представлені в дисертації Гвоздецького В. М. наукові положення, висновки та рекомендації є експериментально обґрунтованими, достовірними та апробованими. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено застосуванням сучасних методів досліджень, забезпеченням необхідної точності вимірювань, статистичним обробленням отриманих експериментальних даних, ілюстраційним супроводом представлених результатів досліджень, забезпеченням та контролем процесу формування покриттів з необхідними властивостями, відтворюваністю, узгодженістю отриманих аналітичних та експериментальних результатів з описаними у вітчизняній та закордонній літературі.

7. Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше встановлено закономірності впливу фазового складу анодованих шарів на їх функціональні характеристики. Фаза беміт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

забезпечує високу мікротвердість та абразивну зносостійкість, а фаза гібсит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) відповідає за високі трибологічні характеристики анодованих шарів, завдяки перенесенню тонкої захисної плівки гібситу на контртіло. Вміст необхідних фаз (гібситу, беміту або їх суміші) у анодованому шарі регулювали додаванням до електроліту пероксиду водню (30...50 мл/л), термічною обробкою (100...400°C), або температурою електроліту (від (-5) до +5°C).

2. Вперше встановлено, що за додавання до електроліту для анодування пероксиду водню (10...50 мл/л) або озону (25 мл/год/л), а також застосування імпульсного режиму підвищує проникнення іонів кисню крізь бар'єрний шар для взаємодії з катіонами алюмінію і таким чином дає змогу збільшити товщину анодованого шару на 40%.

3. Вперше показано, що під час синтезу плазмоелектролітного оксидування шарів на поверхні газотермічних напилених покриттів систем $\text{Al}+\text{Mg}$, $\text{Al}+\text{Ni}$, $\text{Al}+\text{Cu}$, $\text{Al}+\text{Ti}$, утворюються легкоплавкі та рідкотекучі евтектики із сумішей оксидів ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NiO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CuO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$), які легше ніж тугоплавкий оксид Al_2O_3 заповнюють розрядні канали і, тим самим, зменшують поруватість шарів (від 8...10 до 2...3%), підвищують вміст корунду у них від 30 до 70% та збільшують їх мікротвердість (на 300...500 $\text{HV}_{0,3}$) і абразивну зносостійкість (у 4...6 разів).

4. Вперше виявлено закономірності фрикційної взаємодії в середовищі мінеральної оливи пар тертя між плазмоелектролітним оксидним шаром на електродуговому покритті на сплаві Д16 та різними контртілами (бабіт, бронза, чавун, сталь, покриття з гальванічно нанесеним хромом) та встановлено, що коефіцієнт тертя, температура триборозігріву та втрата маси контртіл знижуються із підвищенням їх мікротвердості.

5. Вперше на основі термодинамічного аналізу реакцій, що можуть відбуватися під час напилювання електродугових покриттів із порошкових дротів та прогнозування їх фазового складу розробили порошкові дроти системи легування Fe-Cr-Si-Mn-B-C з екзотермічною шихтою для надзвукового електродугового напилювання зносостійких покриттів. У структурі покриттів утворювалися нанорозмірні (50...150 нм) виділення боридів титану, хрому та заліза, що забезпечило підвищення твердості та зносостійкості покриттів. Для повного сплавлення компонентів шихти та оболонки ПД до його шихти додавали 1 мас.% суміші легкоплавких порошків евтектичного складу ($\text{FeSi} + \text{FeMn} + \text{B}_2\text{O}_3$), що забезпечило отримання гомогенних покриттів з наперед передбаченим структурно-фазовим складом.

6. Вперше встановлено, що використання для електродугового напилювання покриттів із порошкових дротів системи легування Fe-Cr-Si-Mn-B-C із екзотермічною шихтою дало змогу підвищити температуру диспергованих краплин розплаву від 1800 до 2500°C, що забезпечило розплавлення цими краплинами природної поверхневої плівки Al_2O_3 на алюмінієвих сплавах та їх зварювання із алюмінієвою основою, внаслідок чого міцність зчеплення між покриттям і основою зросла на 50%.

8. Практичне значення одержаних результатів

1. Розроблено порошкові дроти (ПД) системи легування Fe-Cr-Si-Mn-B-C із екзотермічною шихтою на основі порошоків карбіду бору, ферохрому, феротитану та заліза, які забезпечили протікання екзотермічних реакцій між компонентами. За результатами експериментальних досліджень та дослідно-промислових перевірок, здійснених на реальних виробках різних підприємств, запропоновано три склади порошкових дротів для відновлення деталей типу «вал»:

- ПД 90X6ГC – покриття з мікротвердістю 450...600 HV_{0,3} для відновлення посадкових місць під підшипники, втулки, шестерні та будь-яких деталей типу «вал», що експлуатуються у відносно легких (без абразиву) умовах;

- ПД 90X6PГC – покриття з мікротвердістю 800...1000 HV_{0,3} для відновлення деталей типу «вал», що експлуатуються у складних (з абразивом) умовах;

- ПД 90X17PГC – покриття з мікротвердістю 850...1000 HV_{0,3} для відновлення деталей типу «вал», що експлуатуються у надскладних (з абразивом і корозивним середовищем) умовах.

2. Розроблено конструкцію соплової системи металізатора для реалізації надзвукового режиму напилювання покриттів на основі подвійного сопла Лавалю. Надзвуковий повітряний струмінь з числом Маха 2 отримали за підвищення тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа, що зумовило збільшення його швидкості у 2 рази від 300 до 600 м/с.

3. Розроблено технологічний регламент відновлення деталей типу «вал» методом електродугового напилювання покриттів із порошкових дротів системи легування Fe-Cr-Si-Mn-B-C для потреб сільськогосподарської, харчопереробної, комунальної, транспортної та оборонної галузей.

9. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях

Дисертація Гвоздецького В. М. містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, які відповідають постанові Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», що затверджує «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

Основні положення й наукові результати дисертації повністю викладено у 47 наукових працях: 1 монографії, 27 статтях у наукових журналах (з них 18 статей входять до наукометричної бази даних Scopus та Web of Science, 9 – до переліку наукових фахових видань України), 16 публікацій у матеріалах конференцій, 3 патентах України на корисну модель. Опубліковано 2 праці у журналах квартилю Q1, 4 Q2, та 12 Q3. Індекс Гірша автора становить 12.

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та які відносять до наукових вітчизняних та закордонних видань

Монографія:

1. Багатофункціональні електродугові покриття / М. М. Студент, Г. В. Похмурська, В. М. Гвоздецький, Т. Р. Ступницький, В. М. Посувайло, С. І. Маркович. – Львів: Простір М, 2018. – 350 с. (*Особистий внесок: написано розділи 3-5, 9 монографії, присвячених дослідженням механічних властивостей електродугових покриттів з порошкових дротів за умов абразивного зносу за кімнатної і підвищеної температури експлуатації*). <https://www.old.nas.gov.ua/UA/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000011603>

Статті у періодичних виданнях, проіндексовані у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science:

2. Hutsaylyuka V., Student M., Zadorozhna Kh., Student O., Veselivska H., **Gvosdetskii V.**, Maruschak P., Pokhmurska H. Improvement of wear resistance of aluminum alloy by HVOF method. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9, Is. 6. P. 16367–16377. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень і пояснення механізмів абразивного зношування напиленних покриттів*). (*Scopus та Web of Science, Q1*). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.102>.

3. Hutsaylyuk V., Student M., Posuvailo V., Student O., Sirak Y., **Hvozdet's'kyi V.**, Maruschak P., Veselivska H. The properties of oxide-ceramic layers with Cu and Ni inclusions synthesizing by PEO method on top of the gas-spraying coatings on aluminium alloys. *Vacuum*. 2020. Vol. 179. 109514. (*Особистий внесок: встановлення механізму формування оксидо-керамчних покриттів на поверхні газотермічних покриттів з включеннями Cu і Ni та обґрунтування їх роботоздатності*). (*Scopus та Web of Science, Q1*). <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109514>.

4. Student M., **Hvozdet's'kyi V.**, Stupnytskyi T., Student O., Maruschak P., Prentkovskis O., Skačkauskas P. Mechanical properties of arc coatings sprayed with cored wires with different charge compositions. *Coatings*. 2022. Vol. 12, Is. 7. 925. (*Особистий внесок: обґрунтування вибору складу шихти порошкових дротів, апробація напиленних покриттів за механічними властивостями та структурою, аналіз отриманих результатів та написання проекту статті*). (*Scopus та Web of Science, Q2*). <https://doi.org/10.3390/coatings12070925>.

5. Student M., Pohrelyuk I., Padgurskas J., **Hvozdet's'kyi V.**, Zadorozhna Kh., Chumalo H., Student O., Kovalchuk I. The effect of heat treatment on the structural-phase state and abrasive wear resistance of a hard-anodized layer on aluminum alloy 1011. *Coatings*. 2023. Vol. 13, Is. 2. P. 391. (*Особистий внесок: обґрунтування режиму термічного оброблення анодованих шарів на поверхні алюмінієвого сплаву 1011 для підвищення їх зносостійкості*). (*Scopus та Web of Science, Q2*). <https://doi.org/10.3390/coatings13020391>.

6. Student M., Pohrelyuk I., Padgurskas J., Rukuiža R., **Hvozdet's'kyi V.**, Zadorozhna Kh., Veselivska H., Student O., Tkachuk O. Abrasive wear resistance

and tribological characteristics of pulsed hard anodized layers on aluminum alloy 1011 in tribocontact with steel and ceramics in various lubricants. *Coatings*. 2023. Vol. 13, Is. 11. P. 1883. (Особистий внесок: встановлення закономірностей впливу параметрів імпульсного режиму анодування на функціональні характеристики синтезованих шарів.). (*Scopus та Web of Science, Q2*). <https://doi.org/10.3390/coatings13111883>.

7. Hvozdet's'kyi V., Padgurskas J., Student M., Pohrelyuk I., Student O., Zadorozhna Kh., Tkachuk O., Rukuiža R. The tribological properties of plasma electrolytic oxidation layers synthesized on arc spray coatings on aluminum alloys in contact with various friction materials. *Coatings*. 2024. Vol. 14, № 4. P. 460. (Особистий внесок: встановлення закономірностей впливу фазового складу ПЕО шарів на легованих газотермічних покриттях на його трибологічні характеристики в парах тертя зі сталлю та бронзою.). (*Scopus та Web of Science, Q2*), <https://doi.org/10.3390/coatings14040460>.

8. Stupnyts'kyi T. R., Student M. M., Pokhmurs'ka H. V., Hvozdet's'ky V. M. Optimization of the chromium content of powder wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B systems according to the corrosion resistance of electric-arc coatings. *Materials Science*. 2016. V. 52, Is. 2. P. 165–172. (*Scopus та Web of Science, Q3*). (Особистий внесок: обґрунтування вибору складу шихти порошкових дрітків систем Fe–Cr–C і Fe–Cr–B для підвищення корозійної стійкості електродугових покриттів.). <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9939-8>.

9. Hvozdet's'kyi V. M. Abrasive Wear Resistance of Alloyed Electric-Arc Coatings from Flux-Cored Wires. *Materials Science*. 2018. Vol. 54, Is. 1. P. 40–47. (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0154-7>.

10. Hvozdet's'kyi V. M., Sirak Ya. Ya., Zadorozhna Kh. R., Dem'yanchuk Ya. M. Influence of the size of drops and the velocity of flow on the structure and properties of electric-arc coatings. *Materials Science*. 2018. Vol. 53, Is. 5. P. 702–708. (Особистий внесок: розроблення і апробація методики формування електродугових покриттів з використанням надзвукового режиму напілювання). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0126-y>.

11. Student M. M., Pohrelyuk I. M., Hvozdet's'kyi V. M., Veselivska H. H., Zadorozhna Kh. R., Mardarevych R. S., Dzioba Y. V. Influence of the composition of electrolyte for hard anodizing of aluminum on the characteristics of oxide layer. *Materials Science*. 2021. Vol. 57, № 2. P. 240–247. (Особистий внесок: обґрунтування складу електроліту за вмістом окиснювачів для збільшення товщини анодованого шару). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00538-x>.

12. Student M. M., Pohrelyuk I. M., Chumalo H. V., Hvozdet's'kyi V. M. Improvement of the functional characteristics of coatings obtained by the method of hard anodizing of aluminum alloys. *Materials science*. 2021. Vol. 56, Is. 6. P. 820–829. (Особистий внесок: обґрунтування впливу додавання перексиду водню до складу електроліту для покращення зносостійкості анодованих шарів). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00500-x>.

13. Student M.M., Pohrelyuk I.M., **Hvozdetskyi V.M.**, Zadorozhna Kh.R., Veselivs'ka H.H. Tribological characteristics of peo layers synthesized on Al–Ti–Cu coatings. *Materials Science*. 2023. Vol. 58, Is. 4. P. 488–493. (Особистий внесок: дослідження і аналіз плазмо-електролітних шарів, синтезованих на Al–Ti–Cu газотермічних покриттях, за трибологічними властивостями.). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-023-00689-z>.

14. Veselivska H.H., **Hvozdetskyi V.M.**, Student M.M., Zadorozhna Kh.R., Dzioba Yu. V. The influence of the electrolyte composition for hard anodizing of aluminum on corrosion resistance of synthesized coatings. *Materials Science*. 2023. Vol. 59, Is. 2. P. 228–233. (Особистий внесок: обґрунтування вмісту окиснювачів в складі сульфатного електроліту на корозійну тривкість анодованого шару в середовищі 3% розчину NaCl). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-024-00767-w>.

15. **Hvozdetskyi V.M.**, Student M.M., Pokhreluyuk I.M., Student O.Z., Zadorozhna Kh.R. Mechanical properties and corrosion resistance of arc coating sprayed by cored wires. *Materials Science*. 2024. Vol. 60, Is. 1, P. 79–84. (Особистий внесок: встановлення закономірностей впливу шихти порошкового дроту на механічні характеристики та корозійну тривкість електродугових покриттів). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-024-00855-x>.

16. **Hvozdetskyi V.M.**, Student O.Z., Student M.M., Pokhreluyuk I.M., Zadorozhna Kh.R., Lukyanenko A.G. Physicomechanical properties of arc sprayed coating formed in supersonic mode. *Materials Science*. 2024. Vol. 60, Is. 2. P. 189–197. (Особистий внесок: фрактографічно розкрито механізм формування когезивної міцності електродугових покриттів, напилених надзвуковим повітряним струменем). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00871-5>.

17. Student M.M., Markovych S.I., **Hvozdetskyi V.M.**, Kalakhan O.S., Yuskiv V.M.. Abrasive Wear Resistance and Tribological Characteristics of Electrometallized Composite Coatings. *Materials Science*. 2022. Vol. 58, Is. 1. P. 96–104. (Особистий внесок: досліджено та проведено аналіз результатів абразивного зношування та фрикційних досліджень напилених електродугових покриттів з порошкових дротів). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00636-4>.

18. Student M., **Gvozdetsky V.**, Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk O., Titova L. The effect of increasing of the air flow pressure during arc spraying of cored wires on the properties of obtained coatings. *Strojnícky časopis - Journal of Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 69, Is. 4. P. 133–146. (Особистий внесок: узагальнені і описані наукові підходи до формування покриттів з порошкових дротів з наперед заданими функціональними характеристиками). (*Scopus та Web of Science, Q3*), <https://doi.org/10.2478/scjme-2019-0048>.

19. Student M.M., **Hvozdetskyi V.M.**, Stupnytskyi T.R., Dzioba Yu.V. development of electrometallic equipment and newest consumables for applying protective and reductive coatings to parts of machinery used in mining, transport, and food processing industries. *Science and innovation*. 2017. Vol. 13, Is. 6. P. 34–

38. (Особистий внесок: розроблення конструкцій та виготовлення мобільного та стаціонарного устаткування для відновлення деталей типу вал методом електродугового напилювання покриттів). (*Scopus та Web of Science, Q3*). <https://doi.org/10.15407/scine13.06.034>.

20. Pohmursky W.I., Student M.M., Hvozdet'sky V.M., Pokhmurska H.V. Druty rdzeniowe serii fini dla natryskiwania łukowego. *Przegląd Spawalnictwa*. 2013. R. 85, Nr 7. P.6–10. (Особистий внесок: розроблення рекомендацій стосовно застосування порошкових дротів для напилювання зносостійких та відновних електродугових покриттів серії ФМІ). <https://doi.org/10.26628/wtr.v85i7.213>

21. Студент М.М., Гвоздецький В.М., Калахан О.С., Посувайло В.М., Шмирко В.М., Сірак Я.Я. Порівняльні характеристики зносостійкості оксидних та нітридних покриттів. *Проблеми трибології*. 2015. Т. 77, № 3. С. 54–59. (Особистий внесок: порівняння за зносостійкістю і трибологічними властивостями ПЕО шарів та нітридних покриттів). <https://tribology.khnu.km.ua/index.php/ProbTrib/article/view/465>.

22. Student M. M., Hvozdet's'kyi V. M., Holovchuk M. Y. Influence of chemical composition of powder wire on structure and determinants of coatings of different chemical composition. *Problems of Tribology*. 2017. Vol. 85, № 3. P. 56–61. (Особистий внесок: встановлення особливостей впливу складу шихти порошкових дротів на структуру та мікротвердість напилених електродугових покриттів). <https://tribology.khnu.km.ua/index.php/ProbTrib/article/view/613>.

23. Студент М.М., Гвоздецький В. М., Ступницький Т. Р, Дзюбик А. Р., Олещук Ю. П. Структура поверхонь та шорсткість електродугових покриттів з порошкових дротів після шліфування. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2017. Вип. 51. С. 75–78. (Особистий внесок: Аналіз впливу елементів легування в складі шихти порошкового дроту на структуру та шорсткість поверхні напилених покриттів після їх шліфування). <https://science.lpnu.ua/uk/istcipa/vsi-vypusky/vyp-51-2017/struktura-poverhon-ta-shorstkist-elektrodugovyh-pokryttiv-z>.

24. Гвоздецький В.М. Електродугові відновні і захисні покриття з порошкових дротів. *Вісник Національної академії наук України*. 2018. № 3. С. 79–84. <https://doi.org/10.15407/visn2018.03.079>.

25. Студент М.М., Гвоздецький В.М., Дзюба Ю.В. Вплив підвищеного тиску повітряного струменю на властивості електродугових покриттів. *Проблеми трибології*. 2018. №3. С. 33–41. (Особистий внесок: отримання експериментальних результатів впливу тиску повітряного струменю на зносостійкість покриттів з порошкових дротів). <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2018-89-3-33-41>.

26. Гвоздецький В. М., Студент М. М., Задорожна Х. Р., Веселівська Г. Г., Маркович С. І. та Мозола Н. З. Механічні характеристики електродугових покриттів, нанесених на сталь Ст3 та алюмінієвий сплав Д16. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2025. 61(2), 014-022. (Особистий внесок: розкрито роль

та оцінено вклад природи підкладки на рівень залишкових напружень у покриттях за їх напильовання до- та надзвуковим режимами).

27. Студент М.М., Маркович С.І., **Гвоздецький В.М.**, Задорожна Х.Р., Ковальчук І.С., Дзьоба Ю.В. Зносостійкість оксидних шарів сформованих методом твердого анодування (hard anodic coatings) при зміцненні деталей агропромислової техніки. *Центрально український науковий вісник*. 2021. Вип. 51. С. 182–187. (Особистий внесок: представлення результатів по зносостійкості анодованих шарів, синтезованих на деталях агропромислової техніки). <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11910>

28. **Гвоздецький В. М.** Маркович, С. І., Задорожна Х. Р. , Студент М. М., Веселівська Г. Г.. Вплив температури електроліту на властивості імпульсно-анодованих шарів на технічному алюмінії. *Центральноукраїнський науковий вісник*. Кропивницький. 2023. С. 101–106. (Особистий внесок: дослідження впливу температури електроліту під час анодування технічного алюмінію та її оптимізація для підвищення абразивної зносостійкості синтезованого шару). <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/e09596d9-f628-4981-8396-2c995721179e/content#page=101>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

29. **Гвоздецький В.М.** Основи формування покриттів із дроту Св08 за підвищеного тиску повітряного струменю. Матеріали VIII Науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів – *Зварювання та споріднені технології*. Снт. Ворзель Київської області, 20-22 травня 2015 р., снт. Ворзель Київської області. 2015. С. 96.

30. Drehmann R., Student M., **Hvozdetskyi V.** , Stupnytskyi T., Posuvailo V., Pokhmurska H. Influence of the size and velocity of the particles on the structure and properties of electric-arc sprayed coatings. ITSC (Proceedings of the *International Thermal spray Conference and Exposition*), Germany, 7 - 9 June 2017 p., Germany, 2017. P. 5283. (Особистий внесок: аналіз впливу швидкості і розмірів краплин розплаву порошкового дроту на властивості електродугових покриттів).

31. **Гвоздецький В.М.**, Михальський Р.В. Відновлення валків прокатних станів нанесенням покриття з порошкових дротів з подальшим зміцненням нанесеного шару. *Теорія та практика раціонального проектування виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій*. Матеріали 5-тої Міжнародної науково-технічної конференції, м. Львів, 27–28 жовтня 2016 р., Львів, 2016. С. 22–23. (Особистий внесок: дослідження особливостей формування покриттів за підвищеного тиску повітряного струменю).

32. **Гвоздецький В.М.**, Сірак Я.Я., Задорожна Х.Р. Вплив шихти порошкових дротів на структуру та властивості наплавленого шару. Матеріали конференції «Проблеми корозійно механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи», м. Львів, 27-29 вересня 2017 р., Львів, 2017. С. 112–115. (Особистий внесок: особливості використання порошкових дротів для відновлення зношених поверхонь).

33. **Гвоздецький В.М.** Основи формування відновних електродугових покриттів для підвищення зносостійкості деталей. *Сучасний рух науки*. Тези III

міжнародної науково-практичної інтернет-конференція, м. Дніпро, 1-2 жовтня 2018 р., Дніпро. 2018. С. 128–132.

34. Student M., Padgurskas J., Dovhunyk V., Chumalo H., Posuvailo V., **Hvozdetzsky V.** Tribological behavior of peo layers synthesized on light alloy. Proceedings of the International Conference, BALTRIB, Kaunas, Lithuania, 14-16 november, 2019 p, Kaunas, Lithuania. 2019. P. 52–57. *(Особистий внесок: проаналізовано трибологічні властивості ПЕО шарів на алюмінієвому сплаві, синтезованих в лужному електроліті).*

35. Veselivska H., Pohrelyuk I., Student M., **Gvosdetskii V.**, Zadorozhna Kh., Dzioba Y. Influence of the composition of the electrolyte for solid anodizing of aluminum on the corrosion resistance of synthesized anodic coatings. *XVI International Conference “Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials”*. Lviv, November 15–17. 2022. Ukraine. Book of abstract. Lviv, 2022. P. 45. *(Особистий внесок узагальнені і описані наукові підходи до формування анодованих шарів із заданим фазовим складом).*

36. Студент М.М., Маркович С.І., **Гвоздецький В.М.**, Задорожна Х.Р., Ковальчук І.С., Дзьоба Ю.В. Зносостійкість оксидних шарів сформованих методом твердого анодування (hard anodic coatings) при зміцненні деталей агропромислової техніки. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*, М. Кропивницький, 10-12 листопада 2021 р., Кропивницький, 2021. С. 86–89. *(Особистий внесок: доказано правомірність використання твердого анодування для підвищення роботоздатності деталей сільськогосподарського призначення).*

37. Студент М., Калахан О., Посувайло В., Довгунік В., **Гвоздецький В.**, Яцюк Р. Трибологічна поведінка плазмоелектролітних оксидокерамічних шарів, синтезованих на алюмінієвих сплавах та електродугових покриттях. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*, Матеріали XXII Міжнародного науково-практичного форуму, м. Львів, 5–7 жовтня 2021 р., Львів, 2021. С. 128–132. *(Особистий внесок: представлення узагальнених результатів по трибологічним властивостям ПЕО шарів, синтезованих на алюмінієвих електродугових покриттях).*

38. **Гвоздецький В.М.**, Студент М.М., Погрелюк І.М., Веселівська Г.Г., Задорожна Х.Р., Сірак Я.Я. Фізико-механічні властивості надзвукових електродугових покриттів з порошкових дрітків. *Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування*. Матеріали IX Міжнародної науково – практичної конференції, м. Луцьк, 5–7 жовтня 2023 р., Луцьк, 2023. С. 160–163. *(Особистий внесок: представлення узагальнених результатів по впливу тиску повітряного струменю на властивості електродугових покриттів).*

39. Студент М., Калахан О., **Гвоздецький В.**, Сірак Я., Задорожна Х., Мардаревич Р. Підвищення зносостійкості шківів комбайна. Матеріали XXIII Міжнародного науково-практичного форуму «*Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*», м. Львів, 4-6 жовтня 2022 р., Львів, 2022. С. 496–499. *(Особистий внесок: представлено*

результати дослідження впливу імпульсного анодування на структуру та абразивну зносостійкість синтезованих шарів).

40. Студент М.М., Маркович С.І., Задорожна Х.Р, **Гвоздецький В.М.** Вплив параметрів електродугового напилення на структуру покриттів. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*, м. Кропивницький, 22 – 24 листопада 2023 р., Кропивницький, 2023. С. 244–247. (Особистий внесок: представлено результати досліджень структури електродугових покриттів з порошкових дротів в залежності від використаного режиму їх напилювання).

41. **Гвоздецький В.**, Студент М., Погрелюк І., Задорожна Х., Веселівська Г. Вплив термічної обробки на структуру та абразивну зносостійкість анодних шарів на алюмінієвому сплаві АД0. *16-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків*: Матеріали симпозіуму, м. Львів, 18 – 19 травня 2023 р., Львів, 2023. С. 57–58. (Особистий внесок: представлено результати дослідження впливу термічного оброблення анодованих шарів на їх структуру та абразивну зносостійкість).

42. Студент М.М., Маркович С.І., **Гвоздецький В. М.**, Веселівська Г.Г., Задорожна Х.Р., Мардаревич Р.С., Сірак Я.Я. Вплив на характеристики оксидного шару складу електроліту для твердого анодування алюмінію. Матеріали III міжн. науково-практичної конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем», м. Кропивницький, 17-19 квітня 2024 р., Кропивницький, 2024. С. 53–56. (Особистий внесок: дослідження впливу складників електроліту на характеристики твердо-анодованих шарів на алюмінії АД0).

43. **Гвоздецький В.**, Студент М. , Студент О., Задорожна Х., Лук'яненко О., Мозола Н. Топографія поверхні електродугових покриттів з порошкових дротів різного складу і її вплив на механізм зношування. *Прикладна механіка*. Праці I міжнародної науково-технічної конференції, м. Тернопіль 6–7 червня 2024, Тернопіль, 2024. С. 339–342. (Особистий внесок: представлення результатів дослідження впливу топографії поверхні напилених покриттів на їх механізму зношування).

44. Студент М.М., **Гвоздецький В.М.**, Задорожна Х.Р. Фізико-механічні характеристики надзвукових покриттів з порошкових дротів. *Проблеми, пріоритети та перспективи розвитку науки, освіти і технологій у XXI столітті*: Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, м. Кременчук, 15 лютого 2024 р., Кременчук, 2024. С. 76–77. (Особистий внесок: узагальнення та рекомендації щодо використання надзвукового режиму напилювання зносостійких електродугових покриттів).

Патенти:

45. Студент М. М., Ступницький Т. Р., **Гвоздецький В. М.** , Сірак Я. Я. Порошковий дріт для напилення електродугових зносостійких та корозійно-стійких покриттів: патент на корисну модель № 115860 Україна. МПК (2006.01) C23C 4/04; заявл. 07.12.2017 и 2016 12461. Опубл.: 25.04.2017. Бюл. №8. 3 с. (Особистий внесок: обґрунтовано необхідність додавання до шихти

порошкового дроту складників, які б підвищували гомогенність покриттів за хімічним складом).

46. Студент М. М., Ступницький Т. Р., Гвоздецький В. М., Дзьоба Ю. В., Сірак Я. Я. Розпилювальна головка електрометалізатора: патент на корисну модель №118357 Україна. МПК В05В7/22; заявл.: 01.11.2023 u201612956. Опубл.: 10.08.2017, бюл. №15. 8 с. *(Особистий внесок: запропоновано модернізувати металізатор новою конструкцією головки, яка б забезпечила на виході підвищену швидкість повітряного струменю).*

47. Студент М. М., Гвоздецький В. М., Погрелюк І. М., Студент О. З., Задорожна Х. Р., Лук'яненко О. Г. Порошковий дріт для напилення зносостійких та корозійнотривких електродугових покриттів на деталі типу вал. Патент на корисну модель № 156401 Україна. МПК (2024.01) С23С 8/00; заявл.: 01.11.2023 u 2023 051151. Опубл.: 19.06.2024. Бюл. № 25. – 4 с. *(Особистий внесок: запропоновано для покращення сплавлення шихти та оболонки порошкового дроту між собою додавати до його шихти суміш порошків феросплавів).*

10. Впровадження результатів наукових досліджень

Відновлені деталі типу «вал» з напиленими електродуговими покриттями із розроблених ПД успішно пройшли дослідно-промислову апробацію на підприємствах України: ПП «Оліяр», «Львівський центр механізації колійних робіт» АТ «Українська залізниця», ТОВ «Антикор-Дніпро», ПрАТ «Компанія Ензим», ПАТ «Кохавинська паперова фабрика», ТОВ «Надійні технології», ТОВ «Сігма Інжиніринг», ТОВ «МВП АГРО ГРУП», ПП «Агрофірма «Дзвони», ТОВ «Метео Інжиніринг», ВП «ЛЖК» ТОВ Щедро», «ТОВ Універсал Сервіс Україна», ФОП «Сливка Р. Г.».

Загальний обсяг робіт з відновлення деталей типу «вал» напилюванням покриттів із розроблених порошкових дротів в рамках господарських договорів за період 2023-2025 рр. досяг 3,2 млн грн.

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

Основні положення і результати дисертаційної роботи обговорені та одержали підтримку на авторитетних міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференціях: VIII Науково-технічній конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології», Київ, 2015; International Thermal spray Conference and Exposition, Germany, 2017; International conference BALTTTRIB, Kaunas, 2019; Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності машин і обладнання» Кропивницький, 2020; XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки», Кропивницький – 2021; XXII Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій», Львів, 2021; Міжнародній науково-практичній конференції Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту, Кропивницький,

2023; 16-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків, Львів, 2023; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем», Кропивницький, 2024; Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми, пріоритети та перспективи розвитку науки, освіти і технологій у XXI столітті», Кременчук, 2024.

12. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація (у вигляді кваліфікаційної наукової праці) викладена послідовно, технічно грамотно, кваліфіковано та доступно для сприйняття. Матеріали логічно систематизовані та оформлені відповідно до вимог. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

13. Відповідність принципам академічної доброчесності

Перевірка дисертації Гвоздецького В. М. на академічний плагіат показала відповідність її електронного та паперового варіантів. За результатами перевірки дисертації Гвоздецького В. М. академічного плагіату не виявлено.

14. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту

Робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.02.01—матеріалознавство, зокрема напрямкам досліджень: «Встановлення закономірностей зв'язку між показниками різних властивостей матеріалів» та «Пошук принципів і шляхів створення нових прогресивних матеріалів».

15. Характеристика здобувача, ступінь наукової зрілості

Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують Гвоздецького В. М. як кваліфікованого науковця, фахівця в галузі матеріалознавства і експериментатора-дослідника. Здобувач професійно володіє методологією наукових досліджень. Логічне мислення, вміння ставити наукові завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти основні та вторинні аспекти досліджень свідчить про те, що Гвоздецький В. М. є сформованим науковцем з достатньо глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки.

ВИСНОВОК

Дисертація Гвоздецького Володимира Миколайовича «Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробках шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану» є завершеною науковою працею, у якій вирішено важливу науково-технічну проблему — підвищення ресурсу нових та відновлення роботоздатності зношених деталей відповідального устаткування низки ключових галузей народного господарства України і оборони, що експлуатуються за умов граничного навантаження та абразивного зношування, шляхом модифікації відомих та створення нових способів оптимізації структурно-фазового стану покриттів,

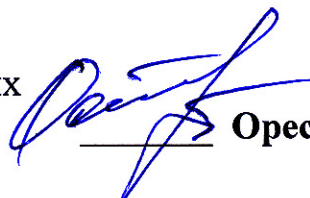
вдосконалення технологічних режимів та розроблення ефективніших порошкових дротів.

У 47 наукових публікаціях достатньо повно відображено результати дисертації. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01– матеріалознавство (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України 14 вересня 2011 року № 1057), та вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.

З урахуванням актуальності теми дослідження, наукової новизни та практичного значення одержаних результатів, особистого внеску здобувача у розв'язання важливої науково-технічної проблеми, достатньої повноти поданих матеріалів дисертації з послідовним їх викладом і відповідністю принципам академічної доброчесності, а також беручи до уваги наукову зрілість та професійні якості Гвоздецького Володимира Миколайовича, рекомендуємо дисертацію «Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробах шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану» для подання на розгляд спеціалізованої вченої ради щодо прийняття її до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Рецензенти:

завідувач лабораторії структурної механіки
руйнування відділу водневих технологій та
матеріалів альтернативної енергетики
Фізико-механічного інституту ім. Г.В.
Карпенка НАН України, доктор технічних
наук, професор



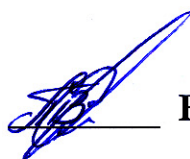
Орест ОСТАШ

провідний науковий співробітник відділу
діагностики корозійно-водневої деградації
матеріалів Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України, доктор
технічних наук, старший дослідник



Галина КРЕЧКОВСЬКА

старший науковий співробітник відділу
матеріалознавчих основ інженерії поверхні
Фізико-механічного інституту ім. Г.В.
Карпенка НАН України, доктор технічних
наук, старший дослідник



Василь ТРУШ

Отримано

06.06.25 TILF