



Затверджую

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., проф.

Іван ДЕМИДОВ

2024 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації доцента кафедри будівництва та енергоефективних споруд Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, кандидата технічних наук, доцента

Присяжнюка Павла Миколайовича

на тему: «Наукові основи формування зносоударотривких покриттів системи «високомарганцева сталь – тугоплавкі сполуки» електродуговим наплавленням» (у вигляді кваліфікаційної наукової праці), представленій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю **05.02.01 Матеріалознавство**

Рішенням Вченої ради Національного університету «Львівська політехніка» (протокол № 6 від 28 листопада 2023 р.) призначено рецензентів:

- **Дурягіна Зоя Антонівна**, доктор технічних наук, професорка, завідувачка кафедри матеріалознавства та інженерії матеріалів Національного університету «Львівська політехніка»

- **Кулик Володимир Володимирович**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри матеріалознавства та інженерії матеріалів Національного університету «Львівська політехніка»

- **Клим Галина Іванівна**, доктор технічних наук, професорка, професорка кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Національного університету «Львівська політехніка»,

розглянувши докторську дисертацію Присяжнюка П.М. «Наукові основи формування зносоударотривких покриттів системи «високомарганцева сталь – тугоплавкі сполуки» електродуговим наплавленням» (тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Національного університету «Львівська політехніка» «28» листопада 2023 р., протокол № 6), наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, а також за результатами фахового семінару кафедри матеріалознавства та інженерії матеріалів Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» (протокол № 11-23 від 19 грудня 2023 р.), підготували висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів докторської дисертації:

1. Дисертація Присяжнюка Павла Миколайовича представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 Матеріалознавство, є кваліфікаційною науковою працею, характеризується єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності, підготована здобувачем самостійно. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності 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.

Дисертаційна робота спрямована на розроблення нових матеріалів (у вигляді порошкових стрічок), які призначені для електродугового наплавлення сталевих робочих поверхонь деталей, що експлуатуються за умов інтенсивного ударно-абразивного зношування. Враховуючи гнучкість та універсальність технології електродугового наплавлення, використання розроблених матеріалів дозволяє суттєво підвищити рентабельність виготовлення продукції різного призначення, шляхом пресування, подрібнення, прокатування і т.п. Розроблення нових сплавів для наплавлення, що характеризуються виразною гетерофазовою структурою композитного типу, де роль матриці виконує марганцевий аустеніт, який зміцнюється за рахунок мікродвійникування, а роль армівної фази розчини на основі тугоплавких карбідів (просторова група Fm-3m) та боридів (просторова група R4/tbm) передбачає поєднання як дисперсного, так і деформаційного зміцнення наплавленого шару та, відповідно, високий рівень зносоударотривкості. При цьому, пошук елементного складу сплавів із використанням сучасних програмних засобів, які базуються на методах комп'ютерного дизайну сплавів дозволяє суттєво зменшити вклад емпіричних методів у розроблення нових матеріалів для наплавлення. Таким чином, дисертаційна робота має наукову та практичну цінність, а її результати є актуальними у таких галузях промисловості як переробна, нафтогазова, транспортна та ін.

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

Дисертаційна робота виконана на кафедрі будівництва та енергоефективних споруд Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), є складовою частиною наукової тематики ІФНТУНГ і, зокрема, містить результати, отримані в межах науково-дослідних робіт, які виконувались за рахунок видатків держбюджету: «Розроблення дисперсно-зміцнених композитних покриттів для деталей та інструментів, які експлуатуються в абразивних та агресивних середовищах»

(номер державної реєстрації 0139U005993, 2017–2018 рр.) (виконавець), «Розробка методів і засобів підвищення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь технічного оснащення об'єктів безпекової інфраструктури» (номер державної реєстрації РК 0120U102113, 2020–2021 рр.) (відповідальний виконавець), «Розробка екологічно чистої технології хромування у проточному електроліті довгомірних деталей зі складною топологією поверхні (номер державної реєстрації РК 0121U109591, 2021–2022 р.р.) (виконавець), «Розроблення конструкцій та технологій виготовлення, захисту і ремонту нарізевих з'єднань з покращеними експлуатаційними характеристиками» (номер державної реєстрації 0122U002082, 2022-2023 р.р.) (виконавець), «Розроблення матеріалів для нанесення зносоударотривких покриттів системи «високомарганцева сталь – тугоплавкі сполуки» електродуговим наплавленням» (номер державної реєстрації 0123U101858, 2023-2025 р.р.) (керівник теми), а також гранту Королівського Товариства (UK) «Tungsten-free superhard materials: Earth-abundant metal ternary borides solid solutions» (№ IES\R2\232244 (Worktribe ID: 12795268, 2023-2024 р.р.): (координатор із боку України).

4. Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів.

Всі результати, що стосуються основного змісту дисертації і виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Постановка наукової проблеми і обговорення отриманих результатів виконані спільно зі співавторами статей.

При проведенні досліджень, результати яких опубліковано у співавторстві, автору належать: формулювання завдань дослідження [1,5,16,17,19,30,39,45,47,48,50,51], виготовлення дослідних зразків та проведення експериментів [4,8,11,23,33,34,42], аналіз мікроструктури та фазового складу [1,6,7,10,14,26,29,36,37], обґрунтування планів експериментів [5,13,21, 28,30,40,46,49], проведення розрахунків [2,9,12,15,22,27,31,43,44], аналіз, інтерпретація та систематизація результатів [3,6,13,14,15,24,26,35,38,41], формулювання висновків [4,10,18,20,25,26,27,32].

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

У докторській дисертації «Наукові основи формування зносоударотривких покриттів системи «високомарганцева сталь – тугоплавкі сполуки» електродуговим наплавленням» матеріали кандидатської дисертації «Закономірності формування структури і властивостей карбідосталей на основі сталі Гадфільда» Присяжнюка Павла Миколайовича не використовувались.

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

Висвітлені в дисертації Присяжнюка П.М. наукові положення, висновки та

рекомендації є експериментально і теоретично обґрунтованими, достовірними та апробованими. Обґрунтованість наукових положень, представлених в дисертації, базується на глибокому теоретичному та практично обґрунтованому аналізі, що підтверджується результатами значного обсягу комплексних досліджень, одержаних з використанням прогресивного обладнання та сучасних прикладних комп'ютерних програм. Отримані результати не суперечать фундаментальним теоретичним положенням, які стосуються розроблення зносотривких сплавів на основі заліза. Одержані результати апробовані на авторитетних міжнародних та всеукраїнських конференціях.

7. Наукова новизна одержаних результатів.

У роботі вперше:

- запропоновано концепцію розроблення зносоударотривких сплавів для електродугового наплавлення, яка ґрунтується на дослідженні термодинамічного аналізу, моделювання неупорядкованих твердих розчинів в рамках теорії функціоналу електронної густини, досліджень фазового складу, структури та властивостей для систем легування Fe-Ti-Nb-Mo-V-Mn-Si-C та Fe-Mn-Mo-B-C;

- на основі аналізу експериментальних мессбауерівських спектрів легованого марганцевого аустеніту, сформованого під час електродугового плавлення встановлено, що у його кристалічній гратці найбільш ймовірними розташуваннями Mn є перша та друга координаційні сфери по відношенню до атома вуглецю, який знаходиться у центральній октаедричній порі, що дозволило створити модель кристалічної структури марганцевого аустеніту у вигляді надґратки із антиферромагнітним упорядкуванням, яка містить 33 атоми ($C_1Fe_{24}Mn_8$) та розрахувати його фізико-механічні властивості, що впливають на характер деформаційного зміцнення;

- отримано (із використанням розрахунків у рамках DFT) термодинамічні параметри, які визначають розчинність Mn у фазах (M,Mn)C, де M=Nb, Ti, Mo та V (просторова група Fm-3m) та $Mo_2(Fe_xMn_{1-x})B_2$ (просторова група P4/mbm), що дозволило розробити базу даних термодинамічних функцій для розрахунку фазової рівноваги методом CALPHAD у системах легування Fe-Mn-M-Si-C та Fe-Mn-Mo-B-C та концентраційних діапазонах, що відповідають типовим елементним складам покриттів, наплавлених порошковими електродними матеріалами;

- запропоновано новий емпіричний параметр ($\delta\mu=+22905$ Дж/моль), який забезпечує підвищення точності розрахунку енергії формування боридних фаз молібдену до рівня ± 1 ккал/моль та вперше встановлено, що енергія формування тетрагонального бориду Mo_2MnB_2 (просторова група P4/mbm) становить -44698 Дж/моль;

- встановлено, що додаткове легування шихти порошкових електродів, які забезпечують у структурі наплавленого покриття марганцевий аустеніт карбідами Nb та Ti у кількості до 20 об. % забезпечує формування аустеніто-карбідної структури, де карбідні фази середнім розмірами 4 мкм і 2 мкм, відповідно, характеризуються кубоїдною формою та рівномірним розташуванням, в той час як легування карбідами Mo та V в аналогічних кількостях призводить до виділення карбідних фаз у вигляді прошарків по границях аустенітних зерен, разом із цим у всіх випадках у структурі виявлено марганцевий аустеніт, а покриття характеризуються здатністю до наклепу;

- досліджено закономірності формування структури та фазового складу сплавів для наплавлення на основі Fe, легovanого еквімолярними кількостями карбідів у комбінаціях NbC, NbC+Mo₂C, NbC+Mo₂C+TiC та NbC+Mo₂C+TiC+VC та встановлено, що таке легування призводить, відповідно, до формування: стабільної карбідної ГЦК фази, розчину (Nb,Mo)C, який співіснує із карбідом M₆C, розчину (Nb_{0.3}Ti_{0.3}Mo_{0.3})C та розчину (Nb,Ti,Mo,V)C, який співіснує із η-карбідом, що дозволило отримати розчин (Nb_{0.3}Ti_{0.3}Mo_{0.3})C у вигляді армівної фази для марганцевого аустеніту та розробити сплав для наплавлення складу 360Г15М6Б6Т3С3Ф, який характеризується рівнем твердості: 47 HRC – у вихідному стані та 57 HRC після деформаційного зміцнення, а також абразивною зносотривкістю, на рівні покриттів, наплавлених серійними високохромистими сплавами Т-620, поряд із ударотривкістю вищою, порівняно з ними, на порядок.

- встановлено, що введення до складу шихти порошкових електродів, які забезпечують формування у покритті структури високомарганцевої сталі реакційної суміші Mo+V₄C із еквімолярною кількістю Mo та V призводить до in-situ формування у процесі наплавлення твердих розчинів на основі тугоплавких потрійних боридів Mo₂(Fe_{0.75}Mn_{0.25})B₂ у вигляді фаз із ограненою формою, розмірами від 5 до 30 мкм та мікротвердістю ~23 ГПа, наявність яких у кількості ~30 об. % дозволяє забезпечити твердість 63–65 HRC (тип наплавленого металу 70M24Г13P3) та абразивну зносотривкість наплавлених покриттів, на рівні покриттів одержаних шляхом наплавлення серійними вольфрамовими сплавами систем WC-Ni та WC-Fe.

Набула подальшого розвитку:

- теорія моделювання невпорядкованих твердих розчинів на основі тугоплавких сполук із використанням підходів віртуального кристалічного наближення, спеціальних квазінепорядкованих структур та кластерного розширення, що дозволило встановити оптимальний склад карбідної ((Nb_{0.3}Ti_{0.3}Mo_{0.3})C) та боридної (Mo₂(Fe_{0.75}Mn_{0.25})B₂) фаз, для зміцнення наплавлених шарів на основі високомарганцевих сталей.

8. Практичне значення одержаних результатів.

За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень, а також стендових та промислових випробувань було розроблено та впроваджено у виробництво два типи нових порошкових електродних матеріалів складу 360Г15М6Б6Т3С3Ф (марка СП-КР-1-1К) та 70М24Г13Р3 (марка СП-КР-1-1Б) для наплавлення (у вигляді дротів та стрічок) та технологію нанесення покриттів на базі ТзОВ МНВЦ «Епсілон ЛТД». Зносотривке наплавлення розробленим сплавом 360Г15М6Б6Т3С3Ф апробовано та впроваджено на підприємствах, зокрема для відновлення робочих поверхонь автозчепів СА-3 на базі «АТ Івано-Франківський локомотиворемонтний завод», з метою реставрації замків бурильних труб марки ЗПК-127 (D=127 за ГОСТ Р 50864-96) на базі ПрАТ «Побережський завод пресових агрегатів», а також для реставрації робочих поверхонь роторів дробарок PULVOMATIS моделі 1145 із виробництва щебню. Розроблений сплав 70М24Г13Р3 було застосовано для зміцнення корпусів конічних різців гірничих машин та дорожніх фрез Wirtgen 1000 DC на базі «КП Муніципальна дорожня компанія», зубів екскаваторів JCB, виготовлених із сталі Гадфільда, а також для підвищення балістичної стійкості бронепластин для захисту особового складу із сталі Armoх® 440T відповідно до 4-го класу захисту. Розроблено базу даних термодинамічних функцій (формат TDB) багатокомпонентних систем Fe-Ti-Nb-Mo-V-Mn-Si-C та Fe-Mn-Mo-B-C, яка інтегрується у сучасні комерційні (Thermo-Calc) та некомерційні (OpenCalphad) програмні засоби для розрахунку діаграм фазової рівноваги. Результати дисертаційного дослідження впроваджено у навчальний процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу для підготовки бакалаврів зі спеціальності 131 Прикладна механіка (дисципліна «Матеріалознавство») та докторів філософії зі спеціальності 132 Матеріалознавство (дисципліни «Матеріалознавство» та «Порошкова металургія»).

9. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях.

Дисертація Присяжнюка П.М. містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, а кількість та якість наукових праць, опублікованих за її матеріалами, 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 викладено у 51 науковій публікації, серед яких:

**Статті у наукових періодичних виданнях, проіндексованих у базах даних
Scopus та WoS:**

1. Prysyzhnyuk, P. M., Shihab, T. A., Panchuk, V. H. (2016). Formation of the structure of Cr_3C_2 -MNMts 60-20-20 cermets. *Materials Science*, 52(2), 188–193. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9942-0> (**Scopus, Q3**)
2. Prysyzhnyuk, P., Lutsak, D., Vasylyk, A., Shihab, T., Burda, M. (2015). Calculation of surface tension and its temperature dependence for liquid Cu-20Ni-20Mn alloy. *Metallurgical and Mining Industry*, 12, 346–350. (**Scopus, Q3**)
3. Matviienkiv, O., Prysyzhnyuk, P., Myndiuk, V. (2016). Development of the zinc coating pipe connection technology with arc soldering method using. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5(81)), 50–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.70346> (**Scopus, Q3**)
4. Шлапак, Л. С., Шіхаб, Т., Присяжнюк, П. М., Яремій, І. П. (2016). Формування структури кермету на основі карбіду хрому з мідно-ніккелово-мангановою зв'язкою. *Металлофізика и новейшие технологии*, 38(7), 969–980. <https://doi.org/10.15407/mfint.38.07.0969> (**Scopus, Q3**)
5. Lutsak, D., Prysyzhnyuk, P., Burda, M., Aulin, V. (2016). Development of a method and an apparatus for tribotechnical tests of materials under loose abrasive friction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(7 (83)), 19–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79913> (**Scopus, Q3**)
6. Луцак, Д. Л., Присяжнюк, П. М., Карпані, М. О., Пыльпив, В. М., Коцюбинський, В. О. (2016). Формирование структуры и свойства композиционных покрытий TiB_2 -TiC-сталь, полученных совмещением электродуговой наплавки и СВС. *Металлофізика и новейшие технологии*, 38(9), 1265–1278. <https://doi.org/10.15407/mfint.38.09.1265> (**Scopus, Q3**)
7. Prysyzhnyuk, P., Lutsak, D., Shlapak, L., Aulin, V., Lutsak, L., Borushchak, L., Shihab, T. A. (2018). Development of the composite material and coatings based on niobium carbide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(12 (96)), 43–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150807> (**Scopus, Q3**)
8. Shihab, S. T. A., Prysyzhnyuk, P., Andrusyshyn, R., Lutsak, L., Ivanov, O., Tsap, I. (2020). Forming the structure and the properties of electric arc coatings based on high manganese steel alloyed with titanium and niobium carbides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(12 (103)), 38–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194164> (**Scopus, Q3**)
9. Shihab, T., Prysyzhnyuk, P., Semyanyk, I., Anrusyshyn, R., Ivanov, O., & Troshchuk, L. (2020). Thermodynamic approach to the development and selection of hardfacing materials in energy industry. *Management Systems in Production Engineering*, 28(2), 84–89. <https://doi.org/10.2478/mspe-2020-0013> (**Scopus, WoS, Q3**)

10. Ivanov, O., Prisyazhnyuk, P., Lutsak, D., Matviienkiv, O., Lulin, V. (2020). Improvement of abrasion resistance of production equipment wear parts by hardfacing with flux-cored wires containing boron carbide/metal powder reaction mixtures. *Management Systems in Production Engineering*, 28(3), 178–183. <https://doi.org/10.2478/mspe-2020-0026> (*Scopus, WoS, Q3*)
11. Prisyazhnyuk, P., Shlapak, L., Ivanov, O., Korniy, S., Lutsak, L., Burda, M., Hnatenko, I., Yurkiv, V. (2020). In situ formation of molybdenum borides at hardfacing by arc welding with flux-cored wires containing a reaction mixture of B_4C/Mo . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(12 (106)), 46–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206568> (*Scopus, Q3*)
12. Prisyazhnyuk, P., Shlapak, L., Semyanyk, I., Kotsyubynsky, V., Troshchuk, L., Korniy, S., Artym, V. (2020). Analysis of the effects of alloying with Si and Cr on the properties of manganese austenite based on AB INITIO modelling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(12(108)), 28–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217281> (*Scopus, Q3*)
13. Prisyazhnyuk, P., Molenda, M., Romanyshyn, T., Ropyak, L., Romanyshyn, L., Vytvytskyi, V. (2022). Development of a hardbanding material for drill pipes based on high-manganese steel reinforced with complex carbides. *Acta Montanistica Slovaca*, 27(3), 685–696. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i3.09> (*Scopus, Q3*)
14. Bembenek, M., Prisyazhnyuk, P., Shihab, T., Machnik, R., Ivanov, O., Ropyak, L. (2022). Microstructure and wear characterization of the Fe-Mo-B-C-based hardfacing alloys deposited by flux-cored arc welding. *Materials*, 15(14), 5074. <https://doi.org/10.3390/ma15145074> (*Scopus, WoS, Q2*)
15. Prisyazhnyuk, P., Di Tommaso, D. (2023). The thermodynamic and mechanical properties of Earth-abundant metal ternary boride $Mo_2(Fe,Mn)B_2$ solid solutions for impact- and wear-resistant alloys. *Materials Advances*, 4(17), 3822–3838. <https://doi.org/10.1039/d3ma00313b> (*Scopus, WoS, Q1*)

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України:

16. Шіхаб, Т. А., Криль, Я. А., Парайко, Ю. І., Присяжнюк, П. М., Роп'як, Л. Я., Тирлич, В. В. (2015). Кінетика просочування Cr_3C_2 марганцевим мельхіором у процесі отримання керметів. *Фізика та хімія твердого тіла*, 16(2), 408–412. <https://doi.org/10.15330/pess.16.2.408-412>
17. Шлапак, Л., Присяжнюк, П., Луцак, Л., Луцак, Д. (2017). Ремонт корозійно-механічних дефектів магістральних трубопроводів методом наплавлення порошковими електродами. *Вісті Донецького гірничого інституту*, 1, 254–257.
18. Бондаренко, В., Гнатенко, И. О., Присяжнюк, П. М., Иванов, О. О. (2017). Перспективы исследования проблем идентификации границ зерен в

твердых сплавах системы WC-Co для бурового нефтегазового оборудования. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 402, 13–20.

19. Кустов, В. В., Присяжнюк, П. М., Богаченко, О. М. (2017). Дослідження зносостійкості наплавлених зубків шарошкових доліт методом планування експерименту. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*, 1(2 (80)), 35–39.

20. Иванов, О., Присяжнюк, П., Луцак, Д., Бурда, М., Луцак, Л. (2018). Відновлення робочих органів обладнання для зняття кори з деревини. *Problems of Tribology*, 87(1), 99–105.

21. Пригоровська, Т., Войтенко, П., Врюкало, В., Пітулей, Л., Роп'як, Л., Присяжнюк, П., Бурда, М., Луцак, Д., Луцак, Л. (2018). Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення PDC-доліт для підвищення їх експлуатаційних показників. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*, 1(43), 176–180.

22. Шлапак, Л., Шіхаб, Т., Присяжнюк, П., Луцак, Л., Андрусишин, Р. (2018). Моделювання поширення тепла у кільцях торцевих ущільнень нафтогазопромислових насосів, виготовлених із композиту на основі карбїду хрому, за умов сухого тертя. *Problems of Tribology*, 89(3), 53–60.

23. Присяжнюк, П., Шлапак, Л., Луцак, Д., Бурда, М., Молчанов, А., Андрусишин, Р. (2018). Розроблення зносо- та ударостійких покриттів на основі системи Fe-Ti-Mn-C для нафтогазового обладнання. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 4, 50–56.

24. Присяжнюк, П., Андрусишин, Р., Луцак, Л., Иванов, О. (2019). Формування фазового складу, структури та властивості електродугових покриттів системи Fe-Mn-Nb-Si-C для зміцнення робочих поверхонь землерийної техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр.*, 2(33), 91–97.

25. Присяжнюк, П. М., Сем'яник, І. М. (2020). Формування структури та властивостей матеріалів для наплавлення на основі системи Fe-Mn-Si-C, легованих VC. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: зб. наук. пр.*, 91, 80–85.

Розділи у колективних монографіях:

26. Електродугове наплавлення дисперсно-зміцнених композитних покриттів / Д. Л. Луцак, П. М. Присяжнюк, Л. С. Шлапак, Л. Я. Роп'як, М. Й. Бурда. – Івано-Франківськ: Вид-во ІФНТУНГ, 2018. – 151 с. ISBN 978-966-694-342-5.

27. Наплавлення зносотривких покриттів порошковими електродними матеріалами систем легування Fe-Me-B-C / П. М. Присяжнюк, О. О. Иванов, Л. С. Шлапак. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 174 с. – ISBN 978-966-694-406-4.

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до наукових закордонних видань:

28. Prysyzhnyuk, P., Ivanov, O., Lutsak, D., Lutsak, L. (2020). Wear resistance improvement of equipment for production of building ceramics by hardfacing with flux-cored electrodes based on Fe-Ti-B-C system. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 3(1), 263–273. <https://doi.org/10.2478/mape-2020-0023>

29. Ivanov, O., Prysyzhnyuk, P., Romanyshyn, L., Romanyshyn, T., Mosora, Y. (2021). Using FCAW with electrodes based on Fe-Ti-Mo-B-C system for increasing of durability of junk removal tools. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 4(1), 132–141. <https://doi.org/10.2478/mape-2021-0012>

30. Prysyzhnyuk, P., Krauze, K., Romanyshyn, L., Mosora, Y. (2022). Increasing the wear resistance of mining machines equipment tools by FCAW with Fe-Mo-Mn-BC hardfacing alloys. *Mining Machines*, 40(2), 64–70. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2022.2.1>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

31. Prysyzhnyuk, P., Bishchak, R., Korniy, S., Panchuk, M., Kaspruk, V. (2021). Virtual crystal approximation study of the complex refractory carbides based on Ti-Nb-Mo-V-C system with CASTEP computer code. *CEUR Workshop Proceedings*, 3039, 300–305.

32. Shihab, T. A., Shlapak, L. S., Namer, N. S., Prysyzhnyuk, P. M., Ivanov, O. O., Burda, M. J. (2021). Increasing of durability of mechanical seals of oil and gas centrifugal pumps using tungsten-free cermet with Cu-Ni-Mn binder. *Journal of Physics: Conference Series*, 1741(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012031>

33. Prysyzhnyuk, P., Ivanov, O., Matvienkiv, O., Marynenko, S., Korol, O., & Koval, I. (2022). Impact and abrasion wear resistance of the hardfacings based on high-manganese steel reinforced with multicomponent carbides of Ti-Nb-Mo-V-C system. *Procedia Structural Integrity*, 36, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.014>

34. Kotsyubynsky, V., Shyuko, L., Shihab, T., Prysyzhnyuk, P., Aulin, V., & Boichuk, V. (2021). Multilayered MoS₂/C nanospheres as high performance additives to lubricating oils. *Materials Today: Proceedings*, 35, 538–541. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.021>

35. Присяжнюк П.М., Єналь І.Я. Зносостійкість композитів зі зв'язкою на основі сталі Гадфільда в умовах тертя по закріпленому абразиву. *Підвищення надійності машин і обладнання: Збірник тез доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців*, Квітень 20-22, 2016, Кіровоград, КНГУ, 2016. С.71-73.

36. Присяжнюк П.М., Луцак Д.Л., Бурда М.Й. Зносостійкість композитів зі

зв'язкою на основі сталі Гадфільда в умовах тертя по закріпленому абразиву. *Машини, обладнання і матеріали для напроцудування вітчизняного видобутку та диверсифікації постачання нафти і газу*: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, Травень 16-20, 2016, Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2016. С.280-284.

37. Panchuck V., Prysyzhnyuk P., Andrusyshyn R. Development of materials for mining and excavating wear parts hardfacing based on high manganese steel. *Problemy zarzadzania i eksploatacji w gornictwie: Materiały konferencyjne TUR 2017*, TOM II, September 26-29, 2017, Kraków, AGH, 2017. P. 207-210.

38. Myndiuk V.D., Dotsenko Ye.R., Prysyzhnyuk P.M. NDT features of the pipeline steel's mechanical properties and structure changes via complex of the structurally sensitive parameters. *NDT Days 2016: Proceedings of International Conference*, June 06-10, 2017, Sozopol, Bulgaria, 2017. P.314-318.

39. Присяжнюк П.М., Юрків В.В. Розроблення зносоударостійких покриттів на основі високомарганцевої сталі зміцненої надтвердими матеріалами. *Підвищення надійності машин і обладнання: Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців*, Квітень 18-20, 2018, Кіровоград, КНТУ, 2018. С.61-62.

40. Иванов А., Присяжнюк П., Луцак Д., Луцак Л., Сенютович А. Формирование структуры и свойств износостойкого электродугового покрытия системы Fe-Ti-B-C-Cr. *Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 18-й Международной научно-технической конференции*, Червень 04-08, 2018, Свалява, Киев, 2018. С.70-72.

41. Присяжнюк П.М., Андрусин Р.В. Електродугові покриттів із порошкових електродів на основі системи високомарганцева сталь –ТіС. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: Матеріали 1 ої Міжнародної науково-практичної конференції*, Квітень 17-19, 2019, Кропивницький, ЦНТУ, 2019. С.85-86.

42. Присяжнюк П.М., Сем'яник І.М. Закономірності формування структури та властивостей матеріалів для наплавлення на основі системи Fe-Mn-Si-C, легованих VC. *Актуальні напрями матеріалознавства: збільшення ресурсу конструкцій на основі конвергенції сучасних технологій обробки матеріалів: матеріали міжнародної науково-практичної конференції*, Вересень 24-25, 2020, Харків, ХНАДУ, 2020. С.13-19.

43. Присяжнюк П.М., Шлапак Л.С., Сем'яник І.М., Троцюк Л.Л. Аналіз впливу кремнію на кристалічну структуру та деякі властивості марганцевого аустеніту. *Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 20-й Международной научно-технической конференции*, Червень 01-05, 2020, Киев, АТМ Украины, 2020. С.83-86.

44. Присяжнюк П.М., Молчанов А.О. Визначення механічних властивостей твердих розчинів боридів $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, B)_2$ методом віртуального кристалічного

наближення. *Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023): інженерія, матеріали, технології, транспорт*: збірник наукових доповідей міжнародної конференції, Травень 16-18, 2023, Луцьк, Вежа-Друк, 2023. С.83-86.

Патенти:

45. Бурда М.Й., Присяжнюк П.М., Процюк В.В. Пристрій для безперервного вимірювання зносу: пат. 116674 Україна. МПК G01N 3/56 (2006.01) G01N 19/00; заявл. 25.03.2016. Опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.

46. Бурда М.Й., Роп'як Л. Я., Бурда Ю.М., Шацький І.М., Шлапак Л.С., Присяжнюк П.М., Витвицький В.С. Пристрій для випробовування матеріалів на зношування при терті по абразивному прошарку: пат. 119278 Україна. МПК G01N 3/56 (2006.01); заявл. 01.08.2017. Опубл. 27.05.2019, Бюл. № 10.

47. Бурда М.Й., Луцак Д.Л., Присяжнюк П.М., Шиманський В.Я. Пристрій для дослідження матеріалів на зносостійкість при терті об нежорстко закріплені абразивні частинки: пат. 139773 Україна. МПК G01N 3/56 (2006.01); заявл. 20.05.2019. Опубл. 27.01.2020, Бюл. № 2.

48. Бурда М.Й., Присяжнюк П.М., Хомишак Н.М., Андрусишин Р.В. Пристрій для випробовування матеріалів на газоабразивне зношування: пат. 122253 Україна. МПК G01N 3/56 (2006.01); заявл. 21.06.2018. Опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19.

49. Бурда М.Й., Роп'як Л. Я., Присяжнюк П.М., Луцак Д.Л., Малишевська О.С. Спосіб випробовування матеріалів на зносостійкість при терті об нежорстко закріплені абразивні частинки та пристрій для його реалізації: пат. 122254 Україна. МПК G01N 3/56 (2006.01); заявл. 21.06.2018. Опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19.

50. Бурда М.Й., Шлапак Л.С., Присяжнюк П.М., Іванов О.О., Сміх В.В. Прилад для склерометричних досліджень: пат. 125009 Україна. МПК G01N 3/46 (2006.01) G01N 3/56 (2006.01); заявл. 15.02.2021. Опубл. 22.12.2021, Бюл. №51.

51. Шлапак Л.С., Бурда М.Й., Присяжнюк П.М., Луцак Д.Л., Сем'яник І.М., Трощук Л.Л. Пристрій для випробування матеріалів на абразивний знос: пат. 126751 Україна. МПК G01N 3/56 (2006.01); заявл. 15.02.2021. Опубл. 18.01.2023, Бюл. №3.

10. Впровадження результатів наукових досліджень.

Результати дисертаційного дослідження було апробовано та впроваджено на ТзОВ МНВЦ "Епсілон ЛТД", «АТ Івано-Франківський локомотиворемонтний завод», ПрАТ «Побережський завод пресових агрегатів», «КП Муніципальна дорожня компанія», а також у навчальний процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу для підготовки бакалаврів зі спеціальності 131 Прикладна механіка (дисципліна «Матеріалознавство») та докторів філософії зі спеціальності 132 Матеріалознавство (дисципліни «Матеріалознавство» та «Порошкова

металургія»).

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

Основні результати дисертації доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на вітчизняних та міжнародних конференціях: «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку та диверсифікації постачання нафти і газу» (Івано-Франківськ, 2016); «NDT Days 2016 «XXXI International Conference „Defectosopia'16”» (Sozopol, 2016.); «Підвищення надійності машин і обладнання» (Кіровоград, 2016, 2018); «X Międzynarodowa konferencja techniki urabiania» (Kraków, 2017); «Инженерия поверхности и ренновация изделий» (Свалява, 2018); «Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability» (Кропивницький, 2019); «17th International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, ICPTTFN» (Івано-Франківськ, 2019); «Инженерия поверхности и реновация изделий» (Київ, 2020); «ITTAР 2021 The 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2021», (Тернопіль, 2021); «HERVICON+PUMPS-2020» (Суми, 2020); 1-ша віртуальна Міжнародна науково-технічна конференція «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування» (Тернопіль, 2021); «Актуальні напрями матеріалознавства: збільшення ресурсу конструкцій на основі конвергенції сучасних технологій обробки матеріалів» (Харків, 2020). «Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023): інженерія, матеріали, технології, транспорт» (Луцьк, 2023).

12. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення.

Дисертація (у вигляді кваліфікаційної наукової праці) викладена професійно, кваліфіковано та грамотно. Матеріали логічно систематизовані та коректно оформленні. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

13. Відповідність принципам академічної доброчесності.

У процесі перевірки на академічний плагіат дисертації Присяжнюка П.М. встановлено відповідність електронного варіанту дисертації, наданого здобувачем, паперовому варіанту дисертації. У результаті перевірки дисертації Присяжнюка П.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», «Технічні, технологічні і захисні покриття конструкційних та технологічних матеріалів» та «Фізичні та фізико-хімічні явища в об'ємі, робочому шарі і на поверхні деталей та вузлів із різних матеріалів у процесі експлуатації».

15. Характеристика здобувача, ступінь наукової зрілості.

Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують Присяжнюка П. М. як кваліфікованого фахівця і дослідника. Здобувач на високому рівні володіє методологією наукових досліджень. Йому притаманне логічне мислення, вміння ставити наукові завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти основні та вторинні аспекти. Присяжнюк П. М. є сформованим, кваліфікованим науковцем з глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки.

ВИСНОВОК

Дисертація Присяжнюка П. М. «Наукові основи формування зносоударотривких покриттів системи «високомарганцева сталь – тугоплавкі сполуки» (у вигляді кваліфікаційної наукової праці) є завершеною науковою працею, у якій на основі розроблених науково-прикладних основ вирішено актуальну науково-прикладну проблему із забезпечення зносоударотривкості робочих поверхонь сталевих деталей для низки галузей промисловості, шляхом використання електродугового наплавлення розробленими порошковими електродними матеріалами. Запропоновано концепцію розроблення зносоударотривких сплавів, яка базується на цілеспрямованому пошуку концентраційно-температурних інтервалів, у яких стабільною є двофазова структура: марганцевий аустеніт+тугоплавка сполука, що має важливе значення для матеріалознавства.

У 51 науковій публікації повністю відображені результати дисертації. Дисертація підготовлена за спеціальністю 05.02.01 Матеріалознавство, 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 ставляться 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, теоретичного та практичного значення одержаних результатів, впровадження їх у практику, обґрунтованості висновків на основі одержаних достовірних результатів, особистому внеску здобувача у розв'язання важливої науково-технічної проблеми, достатньої повноти викладення матеріалів дисертації, що характеризується єдністю змісту, відповідності принципам академічної доброчесності, а також беручи до уваги наукову зрілість та професійні якості Присяжнюка Павла Миколайовича, рекомендувати дисертацію «Наукові основи формування зносоударотривких покриттів системи «високомарганцева сталь – тугоплавкі сполуки» для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Рецензенти:

доктор технічних наук, професорка,
завідувачка кафедри
матеріалознавства та інженерії
матеріалів Національного
університету “Львівська політехніка”

Зоя ДУРЯГІНА

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри матеріалознавства
та інженерії матеріалів
Національного університету
“Львівська політехніка”

Володимир КУЛИК

доктор технічних наук, професорка,
професорка кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем Національного
університету “Львівська політехніка”

Галина КЛИМ