



Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона

кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки



## **ЗВІТ ПРО ВИКОНАННЯ Д/Б ТЕМИ №2405ф**

# **«Структурно-фазові механізми керування комплексом поверхневих властивостей конструкційних і функціональних сплавів комбінованими тепловими, йонними та деформаційними впливами»**

Керівник: д.ф.-м.н., професор Волошко Світлана Михайлівна



# Предмет та мета дослідження



**Мета:** довести перспективність використання комбінованих теплових, йонних та деформаційних впливів у якості інструменту цілеспрямованої модифікації структурно-фазових станів приповерхневої області широкого класу конструкційних і функціональних металевих матеріалів для збільшення довговічності, якості і надійності деталей, виробів і конструкцій транспортного машинобудування та медицини.

**Предмет:** структурно-фазові стани, механічні, корозійні, жаростійкі, зносостійкі, антибактеріальні та біосумісні властивості поверхні широкого класу металевих сплавів після синергетичного впливу теплового та деформаційного факторів. **Об'єкт:** механізми структурно-фазових перетворень, які забезпечують оптимальний комплекс властивостей поверхневих шарів конструкційних та функціональних сплавів високоенергетичними тепловими та деформаційними впливами у різних середовищах.

# Основні наукові результати



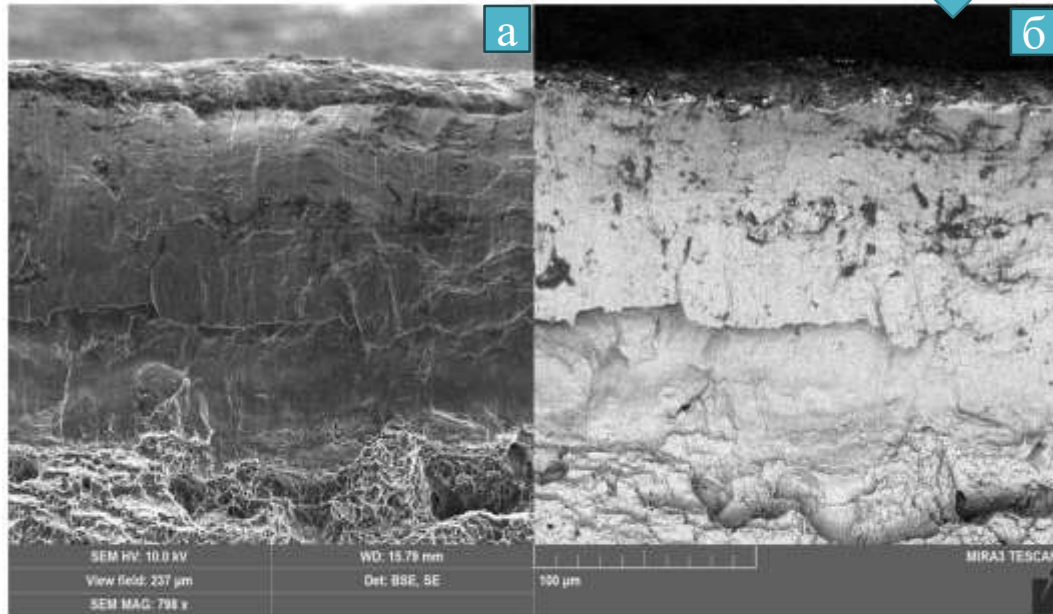
1. Доведено перспективність використання комбінованих теплових, йонних та деформаційних впливів у якості інструменту цілеспрямованої модифікації структурно-фазових станів приповерхневої області широкого класу конструкційних і функціональних металевих матеріалів для збільшення довговічності, якості і надійності деталей, виробів і конструкцій транспортного машинобудування та медицини.
2. Досліджено сталі 40X13, 08X18H10, 9Г2ФА, алюмінієві сплави АМг6, Д16, кобальтовий сплав Со-Сr-Мо-В, латунь ЛС59-1, титановий сплав ВТ6, багатокomпонентні сплави Fe81B7Si1P10Cu1, CrMnFeNi2CoCu тощо. Сплави Со-Сr-Мо-В та ВТ6 виготовлялись за різними технологіями, у тому числі адитивними (3D-друку).
3. Використано комбіновані впливи на основі ультразвукової ударної обробки (УЗУО), у тому числі із додаванням зміцнюючих керамічних порошків різних фракцій, високочастотної обробки сталевими кульками, електроіскрового легування, лазерного опромінення, дробоструменевого зміцнення, термічної обробки, низькоенергетичного йонного опромінення тощо.



# Основні практичні результати

1. Це дозволило здійснити: механічне наноструктурування приповерхневих шарів, активацію механо-хімічних реакцій, легування/наплавлення, наведення стискаючих напружень, збільшення товщини модифікованих шарів та підвищення їх зносо- та корозійної стійкості, зменшення шорсткості та покращення антибактеріальних властивостей. В результаті, наприклад для сплаву VT6, збільшено до  $\sim 4$  разів інструментальну твердість (до 12,8 ГПа); зменшено в  $\sim 2,5$  рази коефіцієнт тертя упродовж 30 циклів випробувань та до  $\sim 20$  разів втрати матеріалу на зношування; покращено в  $\sim 1,5$  рази термостійкість та в  $\sim 7,5$  разів опір корозії в середовищі 3,5% NaCl, порівняно із вихідним станом.
2. *До навчального процесу впроваджено підручник і 3 навчальні посібники, удосконалено 4 навчальні дисципліни, опубліковано 4 монографії, 30 статей у наукових журналах, що входять до науково-метричних бази даних Scopus (серед яких 4 огляди у виданні з кварталом Q1), отримано 8 охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (у тому числі 5 свідоцтв на реєстрацію авторського права на твір, 2 патенти на корисну модель, заявка на патент на винахід), захищено докторську дисертацію, кандидатську та 2 роботи PhD, укладено та грантових угод поза межами організації-виконавця на суму 2 654 534 грн.*

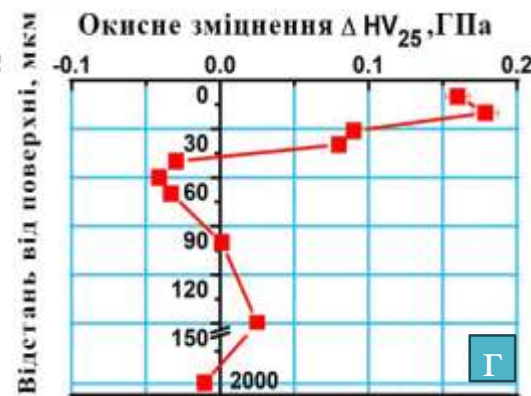
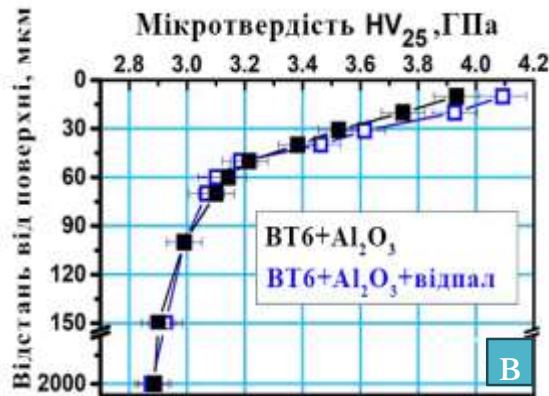
# Товщина та мікротвердість синтезованих покриттів



*a, б* – морфологія поперечного перерізу покриття, синтезованого УЗУО з порошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; *в* – мікротвердість до та після відпалу на різній відстані від поверхні; *г* – окисне зміцнення

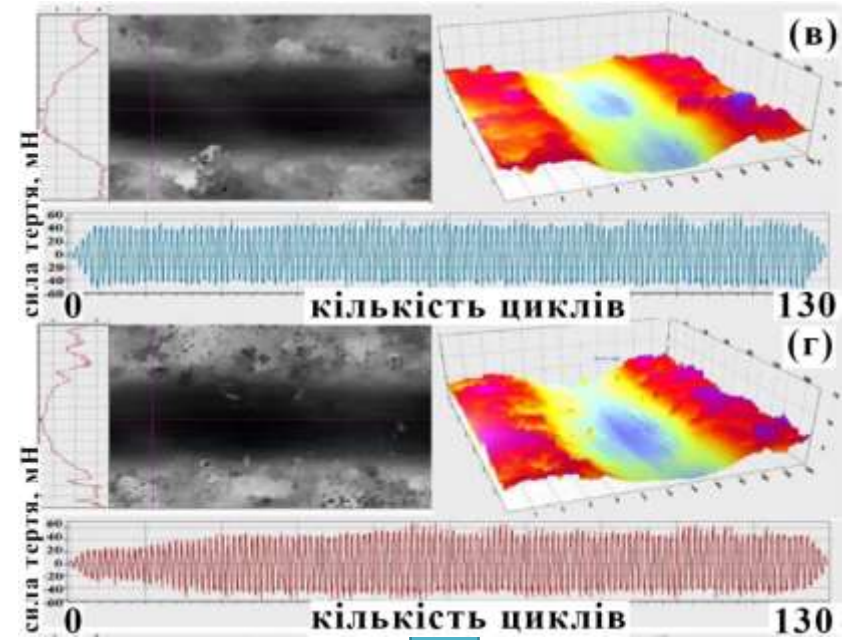
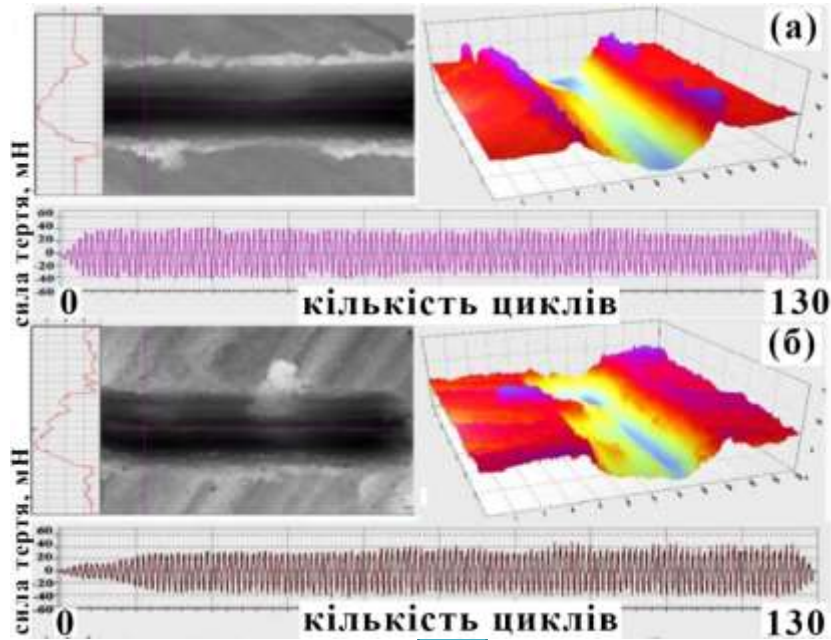
$\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$  має гексагональний тип ґратки, як і метал-матриця, близькі значення періодів ( $Ti$   $a = 2,951 \text{ \AA}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$   $a = 2,909 \text{ \AA}$ ), високу стійкість до теплових ударів. Низький рівень термічних напружень під час відпалу  
 → найменша зміна товщини покриття

→ Покриття оксиду алюмінію характеризується найкращою рівномірністю та суцільністю



Порошок	Товщина покриття, мкм		Зміна товщини покриття	
	До ТО	Після ТО	мкм	%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20	8	12	60
$\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$	9	7	2	22
$\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$	16	12	4	25

**Ефект зміцнення спостерігається до глибини 150 мкм!**



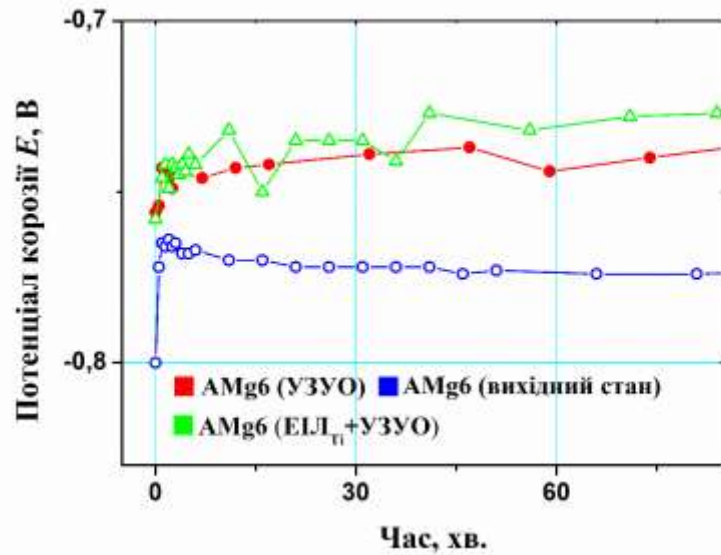
(а) – вихідний стан, (б) – відпал за температури 650 °С, (в) – УЗУО з порошком  $Al_2O_3$ ,  
 (г) – УЗУО з порошком  $Al_2O_3$  та відпал за температури 650 °С

Зменшення сили тертя на початкових етапах зношування відпаленого зразка

Покращення антифрикційних властивостей після синтезу оксидного покриття

**Масоперенесення матеріалу матричного сплаву на контр-тіло для зразка із синтезованим композиційним покриттям з  $Al_2O_3$  не відбувається**

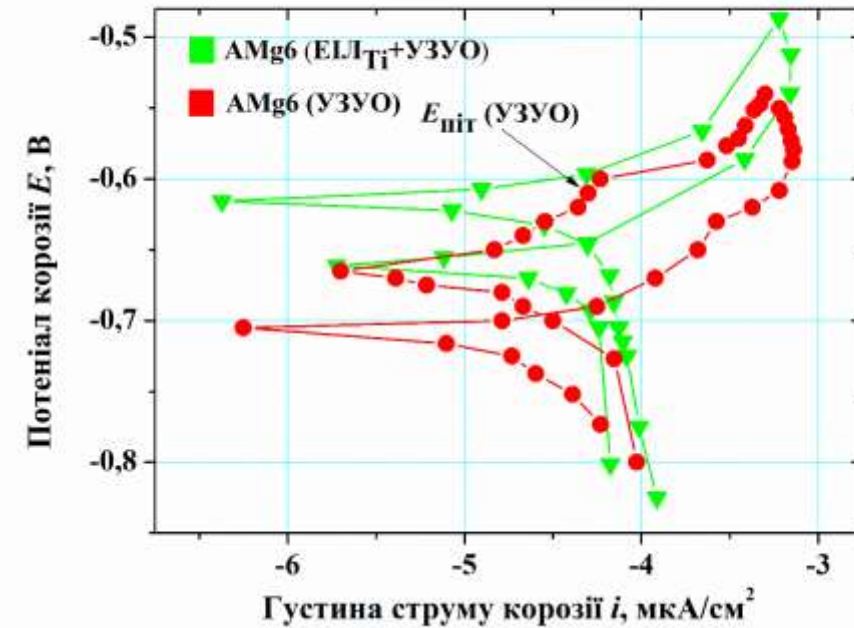
# Корозійна стійкість сплаву АМг6



Відсутність явищ пітингу після  
EIL<sub>Ti</sub> + УЗУО

Матеріал/фаза	Потенціал корозії $E_c$ , В
АМг6	-0,775
АМг6+УЗУО	-0,745
АМг6+EIL <sub>Ti</sub>	-0,730
АМг6+EIL <sub>Ti</sub> +УЗУО	-0,655

Після комбінованої обробки EIL<sub>Ti</sub>+УЗУО значення потенціалу корозії  $E_c$  зростають на ~13,4% та 16,8% порівняно із УЗУО та вихідним станом, відповідно.



Захисна ефективність від корозії (опір кородуванню) зростає на **26%** порівняно з вихідним станом

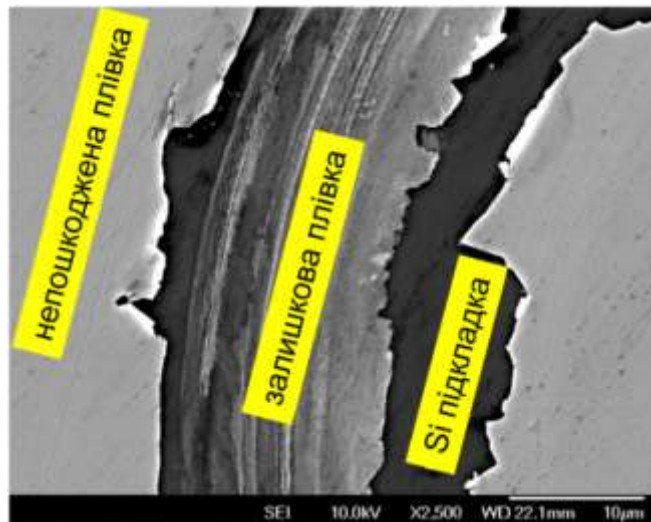
## Метод pin-on-disk

**Йонно-променева:** 1000 eV, 900 с

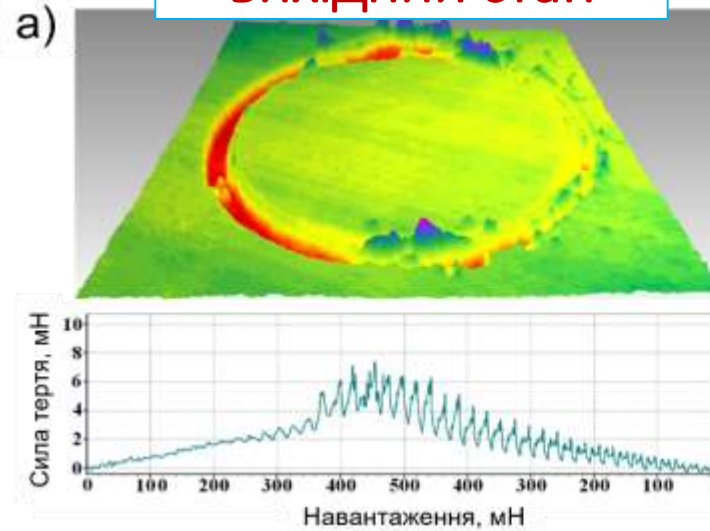
**Термічна:** 450 °C, 900 с, вакуум  $10^{-3}$  Па

**Комплексна:** 1000 eV, 900 с +  
450 °C, 900 с, вакуум  $10^{-3}$  Па

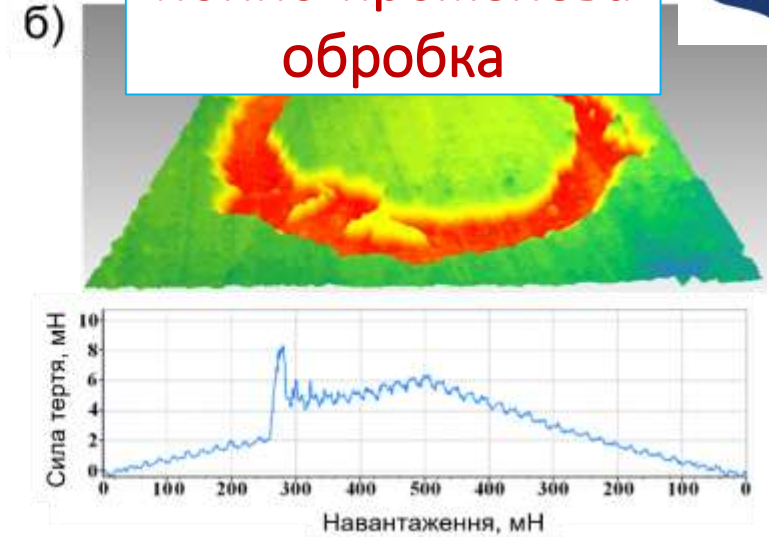
Доріжка тертя для зразка після  
термічної обробки



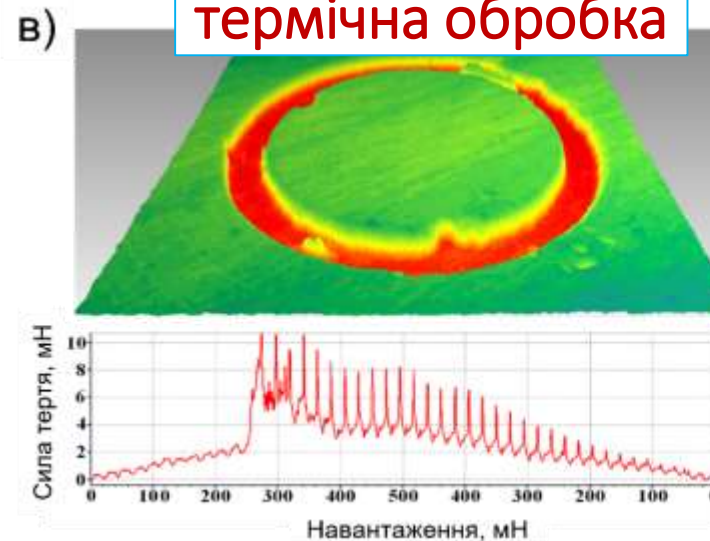
**вихідний стан**



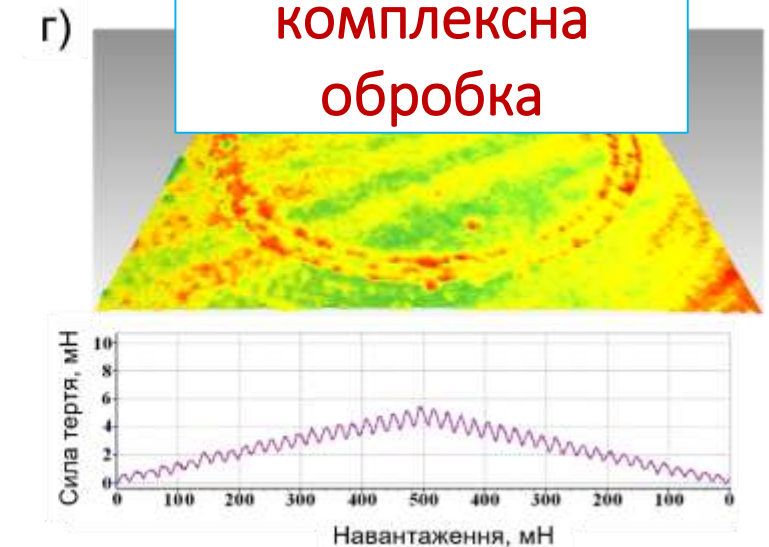
**йонно-променева  
обробка**



**термічна обробка**



**комплексна  
обробка**

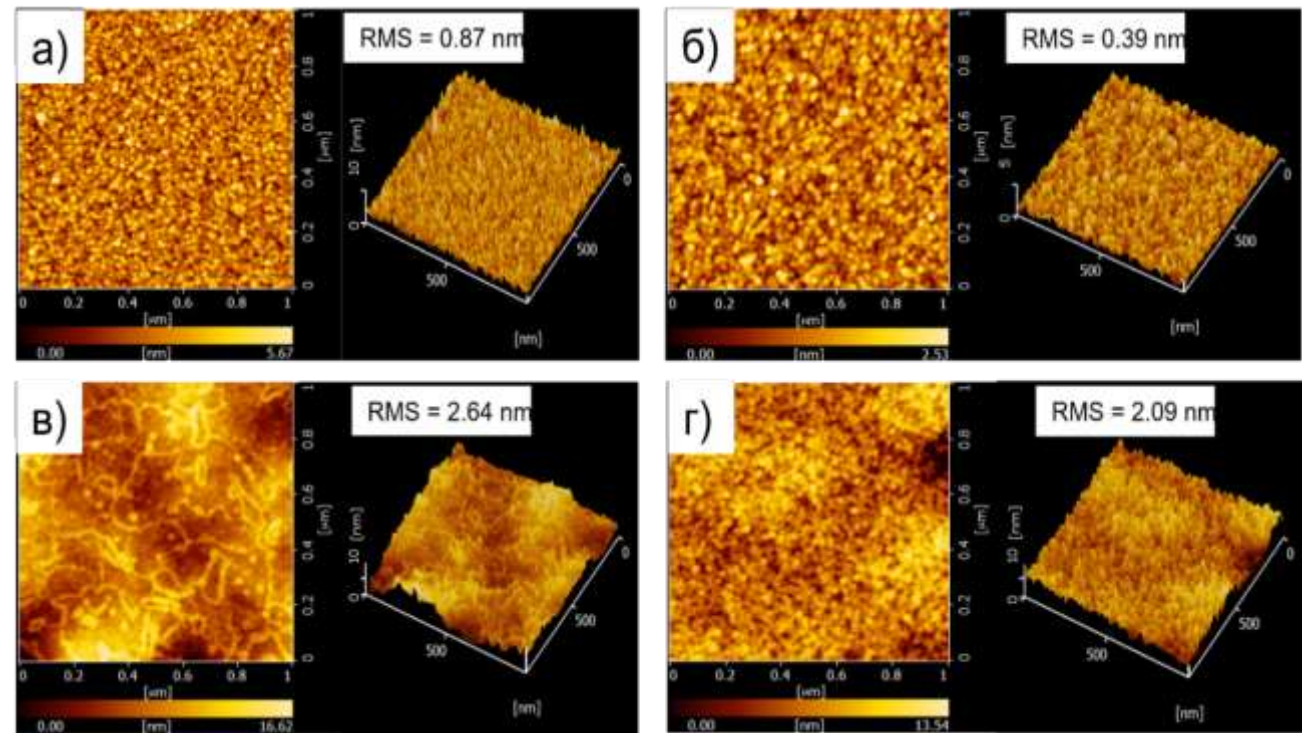
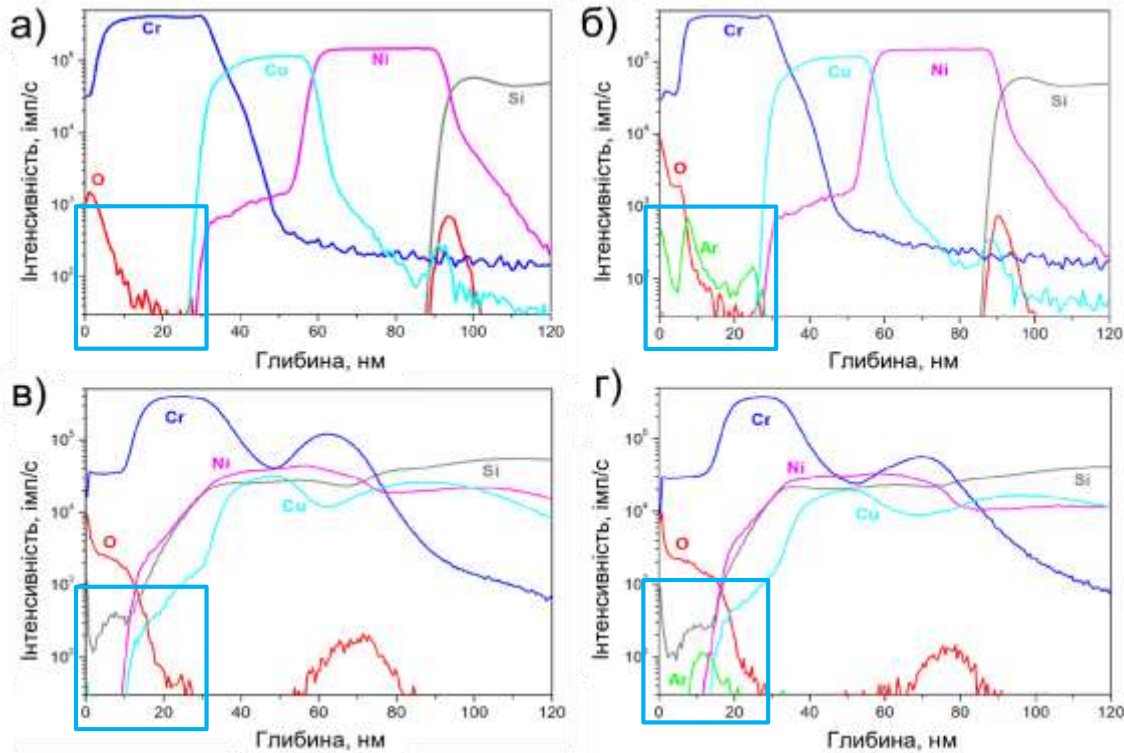




а – вихідний стан; б – йонно-променева обробка; в – термічна обробка; г – комплексна обробка

Пошаровий розподіл компонентів, ВІМС (йони Cs<sup>-</sup>)

Морфологія поверхні, АСМ



Причини такого ефекту пов'язані зі зміцненням поверхневого шару Cr внаслідок зміни динаміки дислокацій під дією імпантованих йонів Ar

Позитивний вплив комплексної обробки: імпантований Ar стає перешкодою для руху та відпалу дислокацій під час термічної обробки (формування атмосфер Котрелла) → зміцнення матеріалу → покращення мікротрибологічних характеристик

# Нагороди та премії

Керівник НДР **С.М. Волошко** та виконавець **Б.М. Мордюк** – лауреати Національної премії імені Бориса Патона (Указ Президента України №660/2021), робота «Фізичні основи та інноваційні технології ультразвукового оброблення матеріалів» <http://kdpu-nt.gov.ua/uk/content/fizychni-osnovy-ta-innovaciyni-tehnologiyi-ultrazvukovogo-obroblennya-materialiv>





# Дисертації



Докторська дисертація **Владимирський І.А.** Термодифузійні структурно-фазові зміни в гетерогенних системах на основі магнітних і немагнітних наночастинок (доктор фіз.-мат. наук), спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла, науковий консультант **С.М. Волошко**, 2021, спеціалізована вчена рада Д 26.168.02 при Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

## Кандидатські дисертації

**Конорев С.І.** Структурно-фазові перетворення на межах розділу в нанорозмірних функціональних композиціях «графен-метал» та «метал-кремній» (кандидат технічних наук), спеціальність 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів, науковий керівник **Сидоренко С.І.**, 2021 рік, Національний технічний університет України Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

**Круглов І.О.** – Вплив комплексної йонної та термічної обробки на структурно-фазові перетворення у функціональних плівкових композиціях із нанорозмірними шарами Ni, Cu, Cr, V, спеціальність 132 – матеріалознавство (доктор філософії), науковий керівник **С.М. Волошко**, 2023, одноразова вчена рада Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Могилко В.В.** Механічні та корозійні властивості композиційних покриттів, синтезованих ультразвуковою ударною обробкою сплавів на основі Ti, Cu, Al, спеціальність 132 – матеріалознавство (доктор філософії), науковий керівник **С.М. Волошко**, 2023, одноразова вчена рада Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (орієнтовний термін захисту – грудень 2023 р.).



# Використання результатів дослідження в навчальному процесі



Результати роботи використані у навчальному процесі для вдосконалення викладання дисциплін «Термодинаміка та кінетика дифузії», «Аномальне масоперенесення», «Нанорозмірне матеріалознавство», «Радіаційне матеріалознавство та еліонні технології» (витяг з протоколу №12/23 Методичної комісії НН ІМЗ ім Є.О. Патона від 28.06.2023 р.).

Виконавці НДР Владимирський І.А., Бурмак А.П., Лесик Д.А. – переможці конкурсу “Молодий викладач-дослідник” 2021, 2022 рр.

Захищено 6 дипломних робіт.

Магістр Анна Лозова (приймала участь у виконанні НДР та проєкту CRDF GLOBAL з оплатою) особисто представила результати досліджень на 12th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties у Кракові у вересні 2022 р.

З оплатою: молодих учених – 5, аспірантів – 2, студентів – 2.



# Підручники і навчальні посібники



1. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник / В. В. Холявко, **І. А. Владимирський**. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка, 2023. – 272 с. (Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського, протокол No 5 від 01.05.2023 р.) ISBN 978-966-990-088-3  
<https://drive.google.com/file/d/12EfrE9mMNRkt095XPRIDaw8NT-wNXQ39/view>
2. Термодинаміка та кінетика дифузії. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: **С. І. Сидоренко, С. М. Волошко**. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.31 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 110 с. (Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від 01.12.2022 р.) за поданням Вченої ради НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 9/22 від 31.10.2022 р.))  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57244>
3. Сучасні експериментальні методи аналізу низькорозмірних структур. Лабораторний практикум. Частина 2 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», освітньою програмою «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. М. В. Карпець, **С. І. Сидоренко, А. П. Бурмак**. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,19 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 113 с. (Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 09.12.2021 р.) за поданням Вченої ради ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 13/21 від 05.11.2021 р.) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45853>
4. Сучасні експериментальні методи аналізу низькорозмірних структур. Навчальний посібник. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», освітньою програмою «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» / КПІ ім. Ігоря Сікорського, уклад. **С. М. Волошко**, О. А. Крутько, **Н. В. Франчік, А. П. Бурмак**. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,95 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 96 с. (Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 09.12.2021 р.) за поданням Вченої ради ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 13/21 від 05.11.2021 р.)) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45851>

# Патенти і авторські свідоцтва



1. Сидоренко С.І., Волошко С.М., Бурмак А.П., Васильєв М.О. Спосіб формування антибактеріального покриття поверхні металевих імплантатів, патент на корисну модель №150781 (zareєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 13.04.2021).
2. Владимирський І.А., Конорев С.І., Бурмак А.П., Круглов І.О. Спосіб формування магнітно-твердого матеріалу з нанорозмірними зернами, ізольованими прошарком оксидної фази, патент на корисну модель № 148164 (zareєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 14.07.2021).
3. Сидоренко С.І., Васильєв М.О., Волошко С.М., Бурмак А.П. Спосіб формування на поверхні металевих імплантатів антибактеріального покриття”, патент на винахід, заявка № а202107334 від 16.12.2021. Опубліковано 21.06.2023, бюлетень №25/2023.
4. Мордюк Б.М., Волошко С. М., Бурмак А. П., Франчік Н.В., Малахов Д.С. Комбіновані методики поверхневого зміцнення алюмінієвого сплаву АМГ6 із застосуванням електроіскрової обробки та ультразвукового ударного впливу. Науковий твір, свідоцтво № 108366 (zareєстровано в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір 01.10.2021).
5. Бурмак А. П., Мордюк Б.М., Волошко С. М., Закієв В.І., Франчік Н.В., Могилко В.В. Методика синтезу деформаційних нанокомпозитів на поверхні латуні ЛС59-1 ультразвуковою ударною імплантацією порошків різних фракцій. Науковий твір, свідоцтво № 108403 (zareєстровано в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір 04.10.2021).
6. Бурмак А. П., Мордюк Б. М., Сидоренко С. І., Волошко С. М., Франчік Н.В., Могилко В. В. Синтез композитних шарів високочастотною ударною обробкою поверхні латуні ЛС59-1 з армуючими частинками карбиду кремнію. Науковий твір, свідоцтво № 114167 (zareєстровано в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір 12.08.2022).
7. Бурмак А. П., Волошко С. М., Закієв В.І., Франчік Н.В. Зміцнення поверхневих шарів нержавіючої сталі 40Х13 із застосуванням комбінованих методик термічної та ультразвукової ударної обробки. Науковий твір, свідоцтво № 114166 (zareєстровано в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір 12.08.2022).
8. Васильєв М.О., Волошко С. М., Бурмак А. П., Мордюк Б. М., Красовський Т.А., Закієв В. І., Франчік Н.В. Зміцнення поверхневих шарів титанового сплаву ВТ6 високочастотною механічною обробкою тертям. Науковий твір, свідоцтво № 113270 (zareєстровано в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір 10.06.2022).



# Публікації



**30 публікацій у виданнях, які індексуються наукометричною базою даних Scopus (Journal of Materials Engineering and Performance (Q2), Progress in Physics of Metals (Q1), Металофізика та новітні технології (Q3), Computational Materials Science (Q1), Journal of Physics D: Applied Physics (Q2), Materials Today Communications (Q3), Lubricants (Q2))**

**4 огляди у журналі Scopus Q1**

**20 публікацій у матеріалах конференцій, серед яких 5 входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus**

1. Mykhaylo Vasylyev, Svitlana Voloshko, Bogdan Mordyuk. Surface severe deformation of the carbon steels. Microstructure and properties. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2021. – 110 p. ISBN: 978-620-3-92866-2 (5,5 д.а.).  
Mykhaylo Vasylyev, Svitlana Voloshko, Bogdan Mordyuk. Deformación superficial severa de los aceros al carbon: Microestructura y propiedades. Ediciones Nuestro Conocimiento, 2021. – 110 p. ISBN-13: 978-620-4-32005-2.  
Mykhaylo Vasylyev, Svitlana Voloshko, Bogdan Mordyuk. Deformazione superficiale grave degli acciai al carbonio: Microstruttura e proprietà. Edizioni Sapienza, 2021. – 100 p. ISBN-13: 978-620-4-32007-6.  
Mykhaylo Vasylyev, Svitlana Voloshko, Bogdan Mordyuk. Starke Verformung der Oberfläche der Kohlenstoffstähle: Mikrogefüge und Eigenschaften. Verlag Unser Wissen, 2021. – 104 p. ISBN-13: 978-620-4-32004-5.  
Mykhaylo Vasylyev, Svitlana Voloshko, Bogdan Mordyuk. Deformação grave da superfície dos aços de carbono: Micro-estrutura e propriedades. Edições Nosso Conhecimento, 2021. – 100 p. ISBN-13: 978-620-4-32008-3.  
Mykhaylo Vasylyev, Svitlana Voloshko, Bogdan Mordyuk. Déformation sévère en surface des aciers au carbone: Microstructure et propriétés. Editions Notre Savoir, 2021. – 104 p. ISBN-13: 978-620-4-32006-9.
2. Розділ монографії: D.A. Lesyk, W. Alnusirat, V.V. Dzhemelinskyi, A.P. Burmak, B.N. Mordyuk. Influence of multi-pin ultrasonic impact treatment on microrelief, structure, and residual stress of AISI O2 tool steel / In: Ivanov V. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – P. 435–444 (2022) [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_43) (0,45 д.а.).
3. Розділ монографії: I. Kruhlov, A. Orlov, V. Zakiev, I. Zakiev, S. Prikhodko & S. Voloshko. Multi-layered Thin-Film Metal Contacts for New Generation Solar Cells // TMS 2022 151st Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings. The Minerals, Metals & Materials Series, Springer. – 2022. – P. 431-441. ISBN 978-3-030-92380-8.
4. М. Васильєв, В. Тіньков, С. Волошко. Вторинно-електронна спектроскопія поверхні: Характеристичні втрати, GlobeEdit, 2022. – 175 p. ISBN 978-620-0-63126-8.
5. А.П. Бурмак. Модифікація поверхні латуні комбінованими деформаційними впливами. GlobeEdit, 2023. – 120 с. ISBN 978-620-0-64225-7.
6. С.І. Сидоренко, С.М. Волошко, А.К. Орлов. Метастабільні стани в технологіях металевих наноматеріалів. Київ: Наукова думка, 2023. – 278 с. (за рішенням Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського, протокол № 9 від 02.10.23 р.).





# Грантові угоди та хозтеми



1. Міжнародний грант CRDF GLOBAL №G-202108-68019 «High Efficiency Multi-Layered Thin-Film Metal Contacts for New Generation Solar Cells» у складі консорціуму з Центром електронної мікроскопії кафедри інженерного матеріалознавства UCLA – Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі (США), кафедрою механічної та аерокосмічної інженерії UCLA Samueli's, та кафедрою фізики UCLA Merced (2021–2022 рр., керівник – С.М. Волошко, виконавці – С.І. Сидоренко, С.І. Конорев, І.О. Круглов, А. Лозова) 1 291 659 грн.
2. Грант № PH/29-2023 «Ієрархічне нанорозмірне плазмове текстурування кремнієвих пластин для сонячної енергетики майбутнього», зовнішній інструмент допомоги ЄС для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі "Горизонт 2020" (25.05.2021 – 31.12.2024 рр. керівник – Сидоренко С.І., виконавці – Волошко С.М., Владимирський І.А., Круглов І.О.). 1800000 грн. (надійшло 768 700 грн.)
3. Грант № 2020.02/0024 Національного фонду досліджень України «Синтез низьковартісних керамічних мембран контрольованого дизайну для мобільних MF/UF/NF систем», 05.11.2020 – 31.12.2020, 06.05.2021 – 31.12.2021, 01.05.2023 – 31.12.2023 (виконавець – Бурмак А.П.) 10693,299 грн.
4. Білатеральний українсько-чеський проект за підтримки МОН України «Підвищення зносо- та корозійної стійкості сталевих деталей комбінованим методом поверхневої лазерно-механічної обробки», № М/78-2021 від 19.11.2021 р., (керівник – Д.А. Лесик, виконавець Круглов І.О.) 165000 грн.
5. Білатеральний українсько-американський проект за підтримки МОН України «Високоєфективні багат шарові тонкоплівкові металеві контакти для сонячних елементів нового покоління», № М/5-2021, № М/67-2022 «Високоєфективні багат шарові тонкоплівкові металеві контакти для сонячних елементів нового покоління», 11.11.2021 – 31.12.2021, 27.05.2022 – 31.12.2022 (керівник – С.М. Волошко, виконавці С.І. Сидоренко, А. Лозова, С.І. Конорев, І.О. Круглов) 358775 грн.
6. Проектна заявка GreenFuse-AI (повна назва: Growing Renewable Energy and Environmentally-Friendly Solutions ("Розвиток відновлюваної енергетики та екологічно чистих рішень") подана на конкурс програми "Горизонт Європа" HORIZON-WIDERA-2023-ACCESS-03-01 Computational models for the development of safe and sustainable by design chemicals and materials ("Обчислювальні моделі для розробки безпечних та стійких за своїм дизайном хімічних речовин і матеріалів"). Реєстраційний номер А124-2023 від 20.04.2023.
7. ПРД 259, ПРД 548 «Розробка та мас-спектрометричні дослідження (ВІМС) зразків ZnSe», 01.09.2021 – 30.09.2021, 01.12.2020 – 31.12.2020 Київський національний університет імені Тараса Шевченка (керівник Волошко С.М., виконавці – Бурмак А.П., Круглов І.О.) 70500 грн.

**Загальна сума без врахування НФДУ 2 654 534 грн.**

# Результати виконання

Відповідно до проектної заявки



1	Опубліковані статті у наукових журналах, збірниках наукових праць, матеріалах конференції тощо, що входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus (в тому числі у наукових фахових журналах України, що відносяться до категорії «А»), кількість кожного виду наукового матеріалу	12 (8)	20(20)
2	Опубліковані статті у наукових фахових журналах України, відносяться до категорії «Б», статті у закордонних наукових виданнях, що не оцінені за п.1, кількість	8	10
3	Опубліковані монографії (розділи монографій) за напрямом проекту, виданих офіційними мовами Європейського Союзу в провідних міжнародних видавництвах (в друкованих аркушах авторського внеску), кількість друкованих аркушів	6	6
4	Опубліковані монографії (розділи монографій) за напрямом проекту, що не оцінені п.3 (в друкованих аркушах авторського внеску), кількість друкованих аркушів	8	17,5
5	Отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (у тому числі свідоцтва на реєстрацію авторського права на твір, патентів на винахід), кількість	4	8
	- патенти на винахід	0	1
	- патенти на корисну модель	1	2
	- свідоцтва на авторський твір	3	5
6	Захищено дисертацій доктора наук авторами проекту або під консультуванням авторів проекту, кількість	1	1
7	Захищено дисертацій доктора філософії (кандидата наук) авторами проекту або під керівництвом авторів проекту, кількість	2	3
8	Укладено господарчі договори, продані ліцензії, отримано грантові угоди поза межами організації-виконавця як впровадження наукових або науково-практичних результатів проекту, відсоток від загальної суми вартості проекту (Підтвердження довідкою з бухгалтерської служби за формою у Додатку 2)	10%	80%
9	Створення макету, експериментального/дослідного зразка, інженерної моделі (конструкції, технології, матеріалу), назва та функціонал	0	0



# Результати виконання



№ з/п	Назва формального показника ( $\Phi_i$ )	Плановане значення	Фактичне значення	Відсоток виконання
1	2	3	4	5
Відповідно до проектної заявки				
1	Створення макету, експериментального/дослідного зразка, інженерної моделі (конструкції, технології, матеріалу), назва та функціонал	0	0	0
2	Укладено господарчі договори, продані ліцензії, отримано грантові угоди поза межами організації-виконавця як впровадження наукових або науково-практичних результатів проекту, відсоток від загальної суми вартості проекту	10%	80%	100
		3 320 770	2 654 534	
3	Отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (у тому числі свідоцтво на авторський твір), кількість та вид документу ОПІВ	4 1 патент 3 АС	8 3 патенти 5 АС	110
4	Захищено дисертацій доктора наук авторами проекту або під консультуванням авторів проекту, кількість	1	1	100
5	Захищено дисертацій доктора філософії (кандидата наук) авторами проекту або під керівництвом авторів проекту, кількість	2	2 1	100
6	Опубліковані монографії (розділи монографії) за напрямом проекту, виданих офіційними мовами Європейського Союзу в провідних міжнародних видавництвах (в друкованих аркушах авторського внеску), кількість друкованих аркушів	6	6	100
7	Опубліковані монографії (розділи монографій) за напрямом проекту, що не оцінені п.6 (в друкованих аркушах авторського внеску), кількість д.а.	8	17,5	110
8	Опубліковані статті у наукових журналах, збірниках наукових праць, матеріалах конференції тощо, що входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus (в тому числі у наукових фахових журналах України, що відносяться до категорії «А»), кількість кожного виду наукового матеріалу	20 12 Scopus 8 кат. А	35 30 статей 30 кат. А 5 тез	100
9	Опубліковані статті у наукових фахових журналах України, відносяться до категорії «Б», статті у закордонних наукових виданнях, що не оцінені за п.8., кількість	0	0	0



# Практичне застосування



Додаток № 16  
до протоколу № Ц-85/16 Ком.т.  
засідання правління  
АТ «Укрзалізниця»  
від 27.03.2023

## СТАНДАРТ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»

СТП 02.01-003:2023

Інженерні споруди

МОСТИ ЗАЛІЗНИЧНІ

Правила зміцнення ремонтних зварних швів металевих  
прогонових будов високочастотною механічною проковкою

*Видання офіційне*

Київ  
АТ «Укрзалізниця»  
2023

Можливі користувачі: ДП «Антонов» – підвищення опору втомі деталей авіаційних двигунів, продуктивності обробки, а також скорочення потреб у виробничих площах; АТ «Укрзалізниця» – затверджений Стандарт СТП 02.01-003:2023 «Правила зміцнення ремонтних зварних швів металевих прогонових будов високочастотною механічною проковкою» (рішення Правління від 27.03.2023, протокол № Ц-85/16); підприємства адитивного виробництва – ТОВ «Адитивні лазерні технології України» (Дніпро), 3D MetalTech (Київ) – використання УЗУО для модифікації поверхні готових 3D-виробів складної форми; підприємства медичної галузі, зокрема ТОВ «МЕДІТЕК» – виготовлення імплантатів з титанових сплавів лазерним 3D-друком з подальшою йонно-плазмовою обробкою.



# Ринок ступінь готовності розробки



Відпрацьовані режими комбінованої обробки поверхневих шарів металевих сплавів в різних середовищах та методики формування композиційних покриттів із підвищеною мікротвердістю, зносо- та корозійною стійкістю, високими антибактеріальними властивостями; розроблені практичні рекомендації для застосування розроблених методик на АТ «Укрзалізниця», підприємствах авіаційної техніки та машинобудування, медичної промисловості. Технологія готова до впровадження.

Результати співпраці із департаментом «Колії і споруди» АТ «Укрзалізниця», ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка», Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України представлені в роботі «Фізичні основи та інноваційні технології ультразвукового оброблення матеріалів», що отримала **Національну премію України імені Бориса Патона** (Указ Президента України №660/2021) – керівник роботи С.М. Волошко та виконавець Б.М. Мордюк є співавторами творчого колективу) <http://www.kdpu-nt.gov.ua/uk/content/fizychni-osnovy-ta-innovaciyni-tehnologiyi-ultrazvukovogo-obroblennya-materialiv>



# Перспективи розвитку



1. Подано проектну заявку На конкурс програми "Горизонт Європа" HORIZON-WIDERA-2023-ACCESS-03-01 Computational models for the development of safe and sustainable by design chemicals and materials ("Обчислювальні моделі для розробки безпечних та стійких за своїм дизайном хімічних речовин і матеріалів") GreenFuse-AI (повна назва: Growing Renewable Energy and Environmentally-Friendly Solutions ("Розвиток відновлюваної енергетики та екологічно чистих рішень"). Реєстраційний номер в КПІ ім. Ігоря Сікорського А124-2023 від 20.04.2023 (керівник – Сидоренко С.І., виконавці – Волошко С.М., Бурмак А.П., Круглов І.О., Конорев С.І.).

2. Готується заявка «Effect of Ultrasonic Surface Treatment of 3D manufactured Stainless Steel Parts on Mechanical Performance Under Quasi Static and Dynamic Deformation Conditions: Impact in Ukraine Gas Transportation Systems» в рамках багатосторонньої партнерської ініціативи **“Міжнародне багатостороннє партнерство для забезпечення стійкості системи освіти і науки в Україні (IMPRESS-U)”**, започатковану Офісом міжнародної науки та інженерії (OISE) Національного наукового фонду (NSF), США.

3. Подано проєкт на конкурс МОНУ «Наукові основи ультразвукової ударної та адитивної технологій виготовлення високонавантажених деталей БПЛА з покращеною дальністю».