

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона  
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

**«Фізичні основи створення каркасних  
металокерамічних композитів із  
субмікронним зерном для забезпечення  
екстремально високих балістичних  
характеристик»**



д/б тема 2404 ф,  
номер державної реєстрації 0121U109789

*керівник Юркова О.І.*

# Загальна інформація

Строки виконання: початок – 01.2021 р., закінчення – 12.2023 р.

Обсяг фінансування (за запитом/фактичний): **4500,0/3353,61** тис.грн. (2023 р. – 900,0 тис. грн.)

Матеріали (в т.ч. обслуговування лабораторій НН ІМЗ ім. Є.О. Патона). 56,93 тис. грн.

Робота спрямована на вирішення **проблеми** виготовлення недорогих, якісних та конкурентоспроможних на світовому ринку матеріалів, здатних працювати в екстремальних умовах експлуатації, а саме в умовах динамічних ударних навантажень.

**Об'єкт дослідження** – металокерамічні каркасні композити з карбїду вольфраму та високоентропійних сплавів або рівномірно розподілених по границях зерен карбїду надтонких прошарків нікелю, отримані швидкісним спіканням.

**Предмет дослідження**: закономірності формування структури, фазового складу та фізико-механічних властивостей металокерамічних каркасних композитів з карбїду вольфраму та високоентропійних сплавів або надтонких рівномірно розподілених прошарків нікелю в умовах швидкісного спікання.

**Мета роботи** – створення фізичних основ керування структурою металокерамічного твердого тіла для підвищення його балістичних властивостей шляхом збільшення питомої ваги, міцності та твердості на 20 %.

## **Завдання, на вирішення яких спрямовано НДР:**

- 1) Дослідити кінетику процесу нанесення надтонкого прошарку нікелю на частинки карбіду WC.
- 2) Обрати та обґрунтувати хімічний склад порошкових композицій ВЕС для зв'язки. Дослідити процеси сплавоутворення у порошковій суміші вихідних компонентів ВЕС обраної системи в процесі механічного легування.
- 3) Дослідити вплив параметрів механосинтезу на формування структури і технологічних властивостей порошкових сумішей WC – ВЕС.
- 4) Дослідити кінетику процесу швидкісного спікання композитів WC–ВЕС та WC–Ni під час електронно-променевого та індукційного нагрівання.
- 5) Дослідити кінетику процесів формування каркасних структур WC–Ni та WC–ВЕС під час спікання.
- 6) Дослідити структуру та властивості (щільність, твердість, міцність, питома вага) каркасних металокерамічних композитів в залежності від вмісту металевої зв'язки (Ni, ВЕС).
- 7) Дослідити властивості каркасних металокерамічних композитів в залежності від структурно-геометричних характеристик каркасу та металевої зв'язки (ВЕС, Ni).
- 8) Дослідити КТР та теплопровідність каркасних металокерамічних композитів.
- 9) Встановити механізми деформації каркасних металокерамічних композитів WC–ВЕС в умовах динамічних ударних навантажень шляхом імітаційного моделювання.

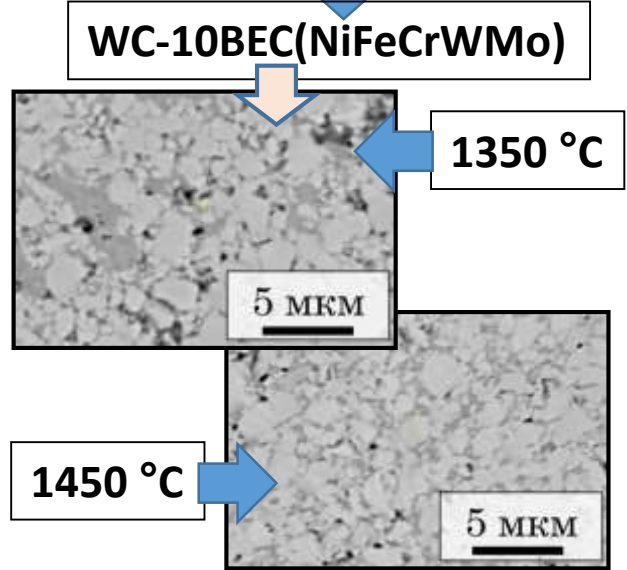
***Всі завдання НДР відповідно до проєкту виконано в повному обсязі***

# Збереження розміру зерна

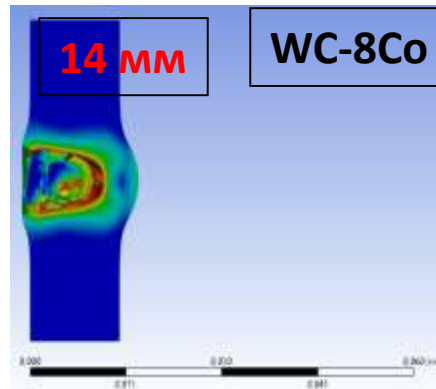
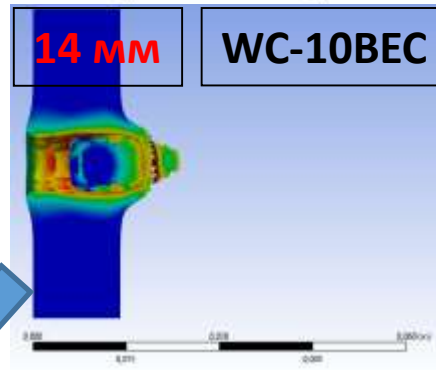
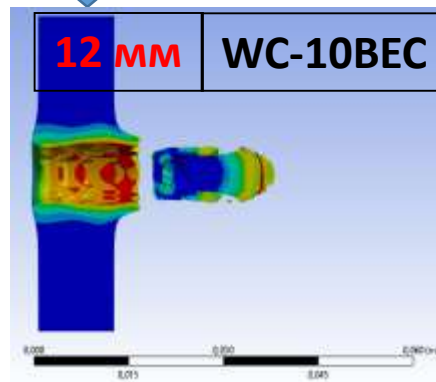
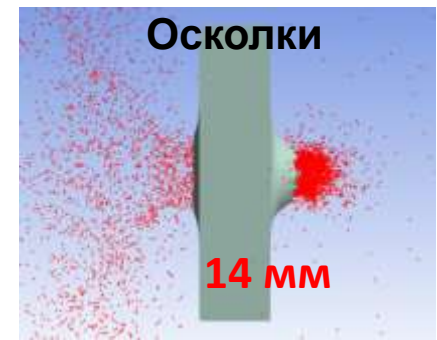
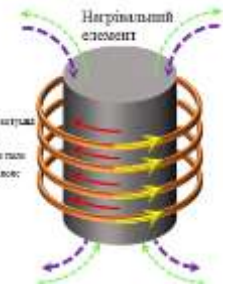
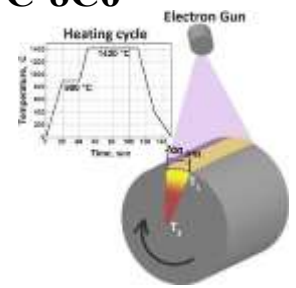
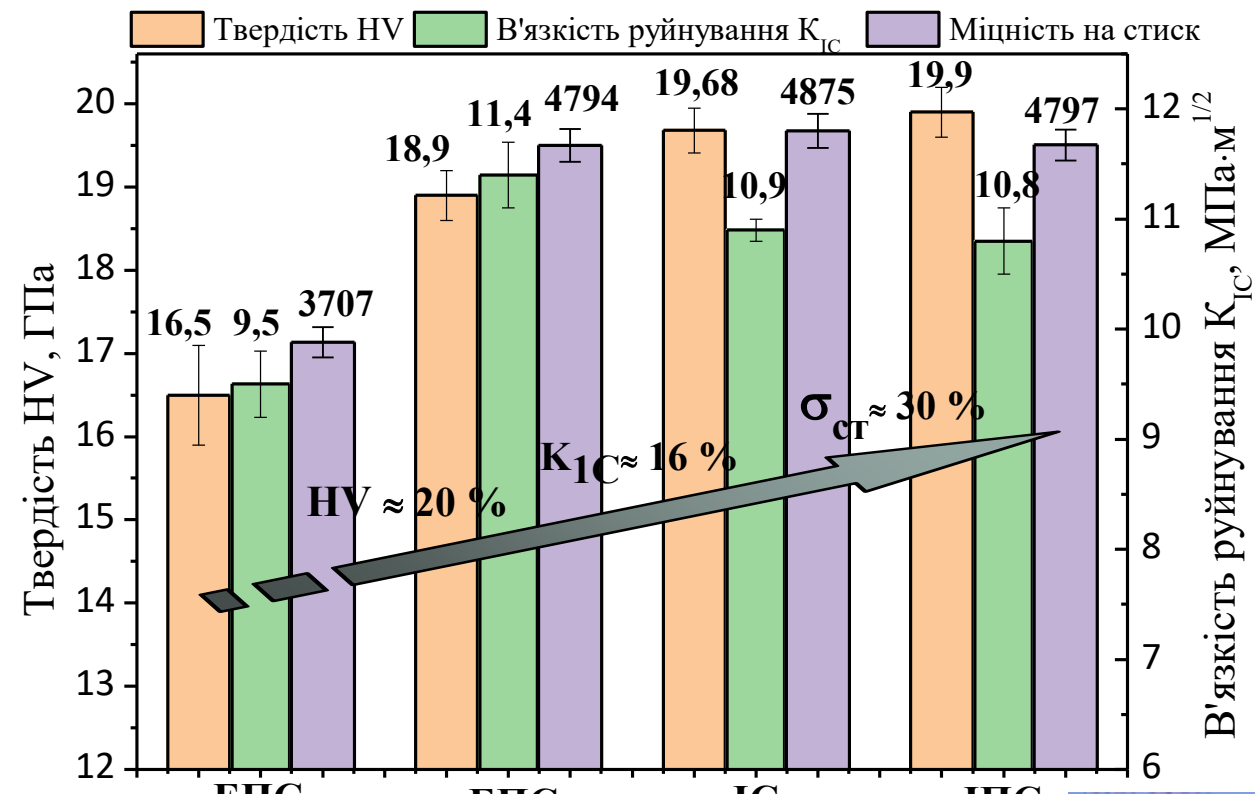
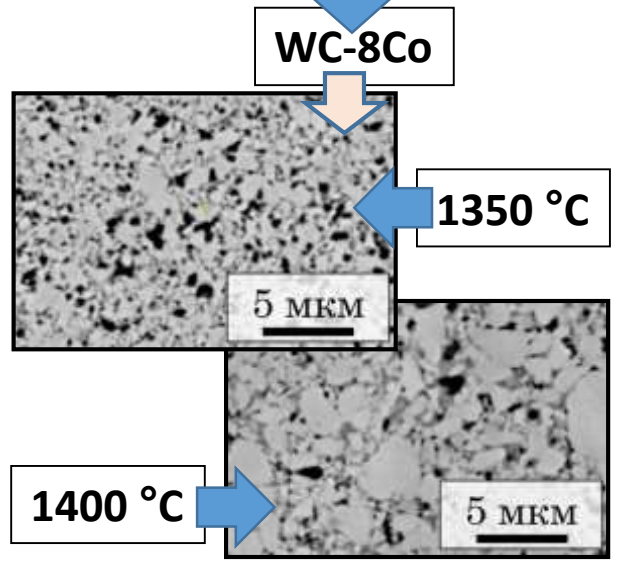
# Експериментальні результати

# Збільшення балістичних характеристик

# Підвищення міцності



# Зростання зерна



## Наукова новизна результатів НДР відповідає заявленій у проєкті

В роботі вперше запропоновано та здійснено новий нетривіальний підхід для створення високощільних каркасних металокерамічних композитів із застосуванням надтвердих матеріалів (WC) і високоентропійних сплавів, як зв'язки на заміну традиційного кобальту, в поєднанні з інноваційними швидкісними методами спікання порошків для покращення як структури (збереження розмірів вихідних зерен тугоплавкої сполуки WC) та комплексу фізико-механічних характеристик спечених композитів, так і спікаємості тугоплавких компонентів, що є одним з найбільш перспективних підходів для отримання виробів з високими балістичними характеристиками. Аналогів такому підходу немає, доказом чого є статті, опубліковані в міжнародних наукових виданнях першого квартилю (Q1).

У роботі вперше: **1)** визначено закономірності впливу швидкісного електронно-променевого та індукційного нагрівання на формування структури та фізико-механічних властивостей каркасних металокерамічних композитів на основі WC з ВЕС зв'язкою; **2)** з'ясовано механізм ущільнення та формування зеренної структури каркасних металокерамічних композитів з ВЕС зв'язкою в умовах швидкісного спікання; **3)** показано, що NiFeCrWMo зв'язка завдяки багатоконпонентному елементному складу стримує зростання зерен тугоплавкої складової під час спікання, в той час як в твердих сплавах WC–8Co, отриманих в тих же умовах, зерна WC зростають майже вдвічі, що спричиняє падіння характеристик міцності; **4)** визначено вплив вмісту ВЕС зв'язки на щільність, структуру та механічні властивості твердих сплавів на основі WC; **5)** встановлено комплекс механічних властивостей та механізми зміцнення каркасних металокерамічних композитів балістичного призначення, отриманих з WC та ВЕС в умовах швидкісного спікання; **6)** встановлено термодинамічна, кінетична та термомеханічна сумісність між компонентами WC–ВЕС композиту; **7)** з'ясовано механізм деформації каркасних металокерамічних композитів WC–ВЕС в умовах динамічних ударних навантажень.

## **Практична значимість результатів НДР відповідає заявленій у проєкті**

Цінність отриманих результатів для потреб розвитку України, в першу чергу, полягає у тому, що створення нових матеріалів та розвиток нових власних технологій дозволить вітчизняній промисловості стати конкурентоздатною на світовому ринку і підняти рівень життя громадян. На сьогодні тільки розвиток високотехнологічних галузей, у яких закладена велика частка інтелектуальної власності, може вивести країну на рівень розвинутих країн Європи та світу. Сировинна економіка, яка до сьогоднішнього часу займає відчутну частку при наповненні державного бюджету, є уже вчорашнім днем і не може привести до успіху. Тому розробка нових матеріалів та технологій, особливо у матеріалознавстві, яке є фундаментом для розвитку інших галузей промисловості, є актуальним на сьогодні. Запропонований підхід дозволяє створювати конкурентоспроможні матеріали та вироби/деталі з них для роботи в екстремальних умовах експлуатації, як завдяки підвищенню фізико-механічних властивостей, так і завдяки зменшенню собівартості, за рахунок скорочення часу процесу спікання, що значно знизить потребу в енергетичних і людських ресурсах та значно зменшить шкідливі викиди в атмосферу. Крім того, заміна Со екологічно безпечною ВЕС зв'язкою одночасно забезпечує зменшення впливу на людину та навколишнє середовище, а отже зменшує токсикологічні та екологічні проблеми.

Результати роботи мають стати підґрунтям для розроблення та вдосконалення методів отримання металокерамічних композитів з підвищеними фізико-механічними властивостями у порівнянні з існуючими світовими аналогами. Таким чином, проведені дослідження дозволять створити наукові основи для вітчизняного виробництва каркасних металокерамічних композитів на основі твердих сполук та ВЕС, конкурентоспроможних на світовому рівні. Результати роботи є важливими для різних галузей техніки та промисловості, насамперед, у сфері національної безпеки та оборони України, а також є перспективними щодо забезпечення потреб гірничо-металургійного та газонафтовидобувного комплексів матеріалами здатними працювати в умовах великих динамічних навантажень..



# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

№ з/п	Назва формального показника	Плановане значення	Фактичне значення	Відсоток виконання
<b>Відповідно до проектної заявки</b>				
1	Опубліковані статті у наукових журналах, збірниках наукових праць, матеріалах конференції тощо, що входять до науково-метричних баз даних <b>WoS та/або Scopus</b> (в тому числі у наукових фахових журналах України, що відносяться до <b>категорії «А»</b> ), <i>кількість кожного виду наукового матеріалу</i>	8 4 8	12 6 9	100 100 100
2	Опубліковані статті у наукових фахових журналах України, відносяться до <b>категорії «Б»</b> , статті у закордонних наукових виданнях, що не оцінені за п.1., <i>кількість</i>	8	8	100
3	Опубліковані монографії (розділи монографії) за напрямом проекту, виданих офіційними мовами Європейського Союзу в провідних міжнародних видавництвах (в друкованих аркушах авторського внеску), <i>кількість друкованих аркушів</i>	–	0,75	
4	Опубліковані монографії (розділи монографій) за напрямом проекту, що не оцінені п.3 (в друкованих аркушах авторського внеску), <i>кількість друкованих аркушів</i>	6	6,33	100
5	Отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (у тому числі свідоцтво на авторський твір), <i>кількість та вид документу ОПІВ</i>			100
	- патенти на винахід	-	1	
	- патенти на корисну модель	2	1 заявка	

# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

№ з/п	Назва формального показника	Плановане значення	Фактичне значення	Відсоток виконання
<b>Відповідно до проектної заявки</b>				
6	Захищено дисертацій доктора наук авторами проекту або під консультуванням авторів проекту, <i>кількість</i>	1	1	100
7	Захищено дисертацій доктора філософії (кандидата наук) авторами проекту або під керівництвом авторів проекту, <i>кількість</i>	2	2	100
8	Укладено господарчі договори, продані ліцензії, отримано грантові угоди поза межами організації-виконавця як впровадження наукових або науково-практичних результатів проекту, <i>відсоток від загальної суми вартості проекту <b>проект 4500 тис.грн. / факт 3353,61 тис. грн.</b></i>	50 %	127,94 % / <b>171,59 %</b>	110 % / <b>120 %</b>
9	Створення макету, експериментального/дослідного зразка, інженерної моделі (конструкції, технології, матеріалу), <i>назва та функціонал</i>	Експ./ досл. зразок з композиту WC-BEC	Експ. /досл. зразок з композиту WC-BEC	100
<b>Відповідно до технічного завдання (додаткові)</b>				
1	Захист магістерських дисертацій	6	6	100
<b>Показник, що не планувався, але був виконаний (за наявності)</b>				
1	Опубліковані монографії офіційними мовами ЄС <i>кількість друк. арк.і</i>	–	0,75	
2	Навчальні посібники	–	2	
3	Доповіді на конференціях (зроблено 25 доповідей, з них 23 – на міжнародних, 10 – зі студентами)	–	25	
4	Захист бакалаврських робіт	–	4	



# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1. Перелік опублікованих статей в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або WoS

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії;	БД
1	I. Solodkyi, S. Teslia, O. Bezdorozhev, I. Trosnikova, <b>O.Yurkova</b> , I. Bogomol, <b>P. Loboda</b> Hardmetals prepared from WC-W <sub>2</sub> C eutectic particles and AlCrFeCoNiV high entropy alloy as a binder / <i>Vacuum</i> (Q1), 2022, Vol. 195, 110630. <a href="https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110630">https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110630</a>	Scopus WoS
2	<b>Yurkova A.I.</b> , <b>Nakonechnyi S.O.</b> , Cherniavsky V.V., Kushnir V.V. (студ.), Nanostructured AlCoFeCrVNi and AlCoFeCrVTi high-entropy alloys resulted from mechanical alloying and sintering / <i>Appl Nanosci</i> (Q2), 2022, Vol. 12, pp. 849–860. <a href="https://doi.org/10.1007/s13204-021-01856-x">https://doi.org/10.1007/s13204-021-01856-x</a>	Scopus WoS
3	Ievgen Solodkyi, Iurii Bogomol, <b>Petro Loboda</b> High-speed electron beam sintering of WC-8Co under controlled temperature conditions. International / <i>Journal of Refractory Metals and Hard Materials</i> (Q1). 2022, Vol. 1 02, 105730. <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105730">https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105730</a>	Scopus
4	S. Teslia, I. Solodkyi, <b>O. Yurkova</b> , O. Bezdorozhev, I. Bogomol, <b>Loboda P.</b> Phase compatibility in (WC–W <sub>2</sub> C)/AlFeCoNiCrTi composite produced by spark plasma sintering. <i>J.Alloys Compd</i> (Q1), 2022, Vol. 921, 166042. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166042">https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166042</a>	Scopus WoS
5	<b>Nakonechnyi S.</b> , Soloviova T., <b>Yurkova A.I.</b> , Solodkyi I., <b>Loboda P.I.</b> Cold sprayed AlNiCoFeCr–TiB <sub>2</sub> metal matrix composite coatings. <i>Vacuum</i> (Q1), 2023, Vol. 213, 112144 <a href="https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112144">https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112144</a>	Scopus WoS
6	<b>Yurkova A.I.</b> , Hushchuk D.V. (асп.), <b>Minitskyi A.V.</b> Synthesis of High-Entropy AlNiCoFeCrTi Coating by Cold Spraying / <i>Powder Metallurgy and Metal Ceramics</i> (Q3), 2021, 59(11-12), pp. 681–694. <a href="https://doi.org/10.1007/s11106-021-00203-7">https://doi.org/10.1007/s11106-021-00203-7</a>	Scopus WoS
7	<b>Minitskyi A.V.</b> , <b>Loboda P.I.</b> , <b>Byba Ye.G.</b> , Trosnikova I.Yu., Khovavko O.I.. Effect of Production Methods on Microstructure, Phase Composition, and Properties of Hard Alloy VK8 with Submicron Grain / <i>Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii</i> (Q3), 2021. – v.19, No 4. – P. 1001-1008. <a href="https://doi.org/10.15407/nnn">https://doi.org/10.15407/nnn</a>	Scopus

# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1. Перелік опублікованих статей в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або WoS

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії;	БД
8	<u>Minitzkyi A.V., Stepanov O.V., Radchuk S.V., Byba Ye.G., Loboda P.I.</u> 3D Printing of Iron-Based Lattice Structures Produced by Selective Laser Melting // <u>Powder Metallurgy and Metal Ceramics</u> , April 2022, Vol. 61, P. 189–196. <a href="https://doi.org/10.1007/s11106-022-00306-9">https://doi.org/10.1007/s11106-022-00306-9</a>	Scopus WoS
9	Akimov G.Ya., Andreev I.V., <b>Loboda P.I.</b> , Trosnikova I.Yu., Sheremet V.I., Novokhatska A.O., Melakh L.M. The effect of cold isostatic pressing of powder billets produced from the VK8 hardmetal on its hardness and phase composition after sintering / <i>Powder Metallurgy and Metal Ceramics</i> (Q3), 2021, Vol. 60, No 3-4. – p. 142-149. <a href="https://doi.org/10.1007/s11106-021-00235-z">https://doi.org/10.1007/s11106-021-00235-z</a>	Scopus WoS
10	Akimov G.Ya., Andreev I.V., Sheremet V.I., Trosnikova I.Yu., <b>Loboda P.I.</b> , Kosenchuk T. O. Structure and Mechanical Properties of WC–8 wt.% Co Hardmetal Produced by Cold and Hot Isostatic Pressing / <i>Powder Metallurgy and Metal Ceramics</i> (Q3), 2022. – Vol. 61, No 1-2. – p. 9-17. <a href="https://doi.org/10.1007/s11106-022-00290-0">https://doi.org/10.1007/s11106-022-00290-0</a>	Scopus, WoS
11	<u>Nakonechnyi S.O., Yurkova A.I., Loboda P.I.</u> Lan Jinlong Effects of boron addition on the structure and mechanical properties of AlNiCoFeCrTiB <sub>x</sub> high-entropy coatings resulted from electron beam sintering // <u>Powder Metallurgy and Metal Ceramics</u> (Q3), 2023, Vol. 62, No. 9–10.	Scopus, WoS
12.	<u>Nakonechnyi S.O., Yurkova A.I., Loboda P.I.</u> Structure and mechanical properties of WC-based hard alloy with NiFeCrWMo high-entropy bonding / <u>Powder Metallurgy and Metal Ceramics</u> , 2023, Vol. 62, No. 11–12.	Scopus, WoS

# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.2 Перелік опублікованих за темою англomовних статей та тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus або WoS

1	<b><u>Nakonechnyi S.</u> and <u>Yurkova A.</u></b> Nanostructural AlNiCoFeCrTi high-entropy coatings performed by cold spraying / Proceedings of the 2021 IEEE 11th International Conference on “Nanomaterials: Applications & Properties” (NAP-2021), Article number 9075643, September 5-11, 2021. P. 1-5, Number: 21387851 <a href="https://doi.org/10.1109/NAP51885.2021.9568613">https://doi.org/10.1109/NAP51885.2021.9568613</a>	Scopus, WoS
2	<b><u>Nakonechnyi S.</u>, <u>Yurkova A.</u>, <u>Minitnyi A.</u></b> . WC-based Cemented Carbides with Nanostructured NiFeCrWMo High-Entropy Alloy Binder // Proceedings of the 2022 IEEE 12th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). (2022) 11-16 September 2022, Krakow, Poland, P. 1–5. <a href="https://doi.org/10.1109/nap55339.2022.9934594">https://doi.org/10.1109/nap55339.2022.9934594</a> .	Scopus, WoS
3	<b><u>Nakonechnyy S.</u>, <u>Yurkova A.</u></b> The nanostructured NiFeCrVMo high-entropy alloy binder versus traditional Co binder for WC-based hard alloys / Proceedings of the 2023 IEEE 13th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). (2023) 10-15 September 2023 Bratislava. <a href="https://doi.org/10.1109/nap59739.2023.10310998">https://doi.org/10.1109/nap59739.2023.10310998</a>	Scopus, WoS
4	<b><u>Nakonechnyi S.</u>, <u>Yurkova A.</u></b> Nanostructural AlNiCoFeCrTi high-entropy coatings performed by cold spraying. // Book of abstracts of the 2021 IEEE 11th International Conference on “Nanomaterials: Applications & Properties” (NAP-2021), 5-11 September, 2021. <a href="https://ieeenap.org/data/IEEE_NAP-2021_Book_of_Abstracts.pdf">https://ieeenap.org/data/IEEE_NAP-2021_Book_of_Abstracts.pdf</a>	Scopus, WoS
5	<b><u>Nakonechnyi S.</u>, <u>A.Yurkova</u>, <u>Minitnyi A.</u></b> WC-based Cemented Carbides with Nanostructured NiFeCrWMo High-Entropy Alloy Binder. / Book of abstracts of the 12th International Conference on “Nanomaterials: Applications & Properties” (NAP-2022). 11-16.09.2022, Krakow, Poland C–2.01nnsa-19. <a href="https://ieeenap.org/data/IEEE_NAP-022_Book_of_Abstracts.pdf">https://ieeenap.org/data/IEEE_NAP-022_Book_of_Abstracts.pdf</a>	Scopus, WoS
6	<b><u>Nakonechnyy S.</u>, <u>Yurkova A.</u></b> The nanostructured NiFeCrVMo high-entropy alloy binder vs traditional Co binder for WC-based hard alloys // Book of abstracts of the 2023 IEEE 13th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). (2023) 10-15 September 2023 P. 01nss-16. <a href="https://ieeenap.org/data/Book_of_Abstracts_2023.pdf">https://ieeenap.org/data/Book_of_Abstracts_2023.pdf</a>	Scopus, WoS

➤ Зроблено **25** доповідей на конференціях (з них **23** – на міжнародних), **10** – зі студентами

# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.3. Перелік опублікованих статей, у журналах що входять до переліку наукових фахових видань України, що відносяться до категорії «А»

1	<b>Мініцький А.В., Лобода П.І., Биба Є.Г.,</b> Троснікова І.Ю., Ховавко О.І. Вплив методів виробництва на мікроструктуру, фазовий склад та властивості твердого сплаву ВК8 із субмікронним зерном / <i>Наносистеми, Наноматеріали, Нанотехнології</i> . – 2021. – т.19, № 4. – С. 1001-1008. <a href="https://www.imp.kiev.ua/nanosys/ru/articles/2021/4/index.html">https://www.imp.kiev.ua/nanosys/ru/articles/2021/4/index.html</a>
2	Акимов Г.Я., Андреев І.В., Шеремет В.І , Троснікова І.Ю., <b>Лобода П.І., Косенчук Т.О.</b> Структура та механічні властивості твердого сплаву WC–8%(мас.)Co, виготовленого з використанням холодного та гарячого ізостатичного пресування // <i>Порошкова металургія</i> . – 2022. – № 1-2. – с. 12-23. <a href="http://www.materials.kiev.ua/article/3377">http://www.materials.kiev.ua/article/3377</a>
3	Акимов Г.Я., Андреев І.В., <b>Лобода П.І.,</b> Троснікова І.Ю., Шеремет В.І., Новохацька А.О., Мелак Л.М. Вплив холодного ізостатичного пресування порошкових заготовок твердого сплаву ВК8 на його твердість і фазовий склад після спікання // <i>Порошкова металургія</i> – 2021. – № 3-4. – с. 18-28. <a href="http://www.materials.kiev.ua/article/3209?emp_id=688">http://www.materials.kiev.ua/article/3209?emp_id=688</a> <a href="http://www.materials.kiev.ua/article/3209">http://www.materials.kiev.ua/article/3209</a>
4	<b>Наконечний С.О., Юркова О.І., Лобода П.І.,</b> Лань Цзиньлун. Вплив бору на структуру та механічні властивості AlNiCoFeCrTi високоентропійних покриттів, отриманих електронно-променевим наплавленням // <i>Порошкова металургія</i> . 2023, № 5/6, С. 77-93.
5	<b>Мініцький А.В., Степанов О.В., Радчук С.В., Биба Є.Г., Лобода П.І.</b> ЗД друк гратчастих структур на основі заліза отриманих методом селективного лазерного плавлення // <i>Порошкова металургія</i> . – 2022 – № 3/4. – С. 70–80. <a href="http://www.materials.kiev.ua/article/3399">http://www.materials.kiev.ua/article/3399</a>
6	Elkady M., <b>Minitzky A.V.,</b> Trosnikova I.Yu., <b>Loboda P.I.,</b> and Leonov D. S. Effect of Plating of Carbon Fibers with Ni on Properties of Fe-Based Materials / <i>Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології</i> ). –2022. – Том. 20, вип.. 4. – С. 0875–0882 <a href="https://ela.kpi.ua/handle/123456789/56105">https://ela.kpi.ua/handle/123456789/56105</a>
7	Boshickaya N.V., <b>Minitzkyi A.V.,</b> Minitzka N.V., Barabash M.Yu., Kushevskaya N.F. Ferromagnetic nanopowder iron-based materials synthesized from iron citrates for medical purposes // <i>Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii</i> . – 2022. – Т. 20, № 2. – С. 569-576. <a href="https://doi.org/10.15407/nnn.20.02">https://doi.org/10.15407/nnn.20.02</a>
8	<b>Юркова О.І., Мініцький А.В., Наконечний С.О., Шапошнікова Є.С., Білик І.І.</b> Дослідження впливу високошвидкісних режимів спікання на структуру та властивості твердосплавного композиту на основі WC з високоентропійною зв'язкою / <i>Надтверді матеріали</i> , 2024, № 1, с. 40-49.
9	<b>Наконечний С.О., Юркова А.І., Лобода П.І.</b> Структура та механічні властивості твердого сплаву на основі WC з NiFeCrWMo високоентропійною зв'язкою // <i>Порошкова металургія</i> . – 2023, № 11/12.

# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2. Перелік опублікованих статей у наукових фахових журналах України, що відносяться до категорії «Б», статті у закордонних наукових виданнях, що не оцінені за п.8.

1	<b>Мініцький А.В., Биба Є.Г., Юркова О.І.</b> , Мініцька Н.В. Вплив параметрів плакування нікелем на властивості порошків карбиду вольфраму / Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2021. – № 72. – С. 13-17. <a href="https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.2">https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.2</a>
2	<b>Наконечний С.О.</b> , Дмитришин Д.Р. (студ.), Мороз В.О. (студ.), <b>Юркова О.І.</b> Високоентропійний NiFeCrWMo сплав, отриманий в процесі механічного легування / Металознавство та обробка металів. 2023, Том 29, № 2, с. 44-58. <a href="https://momjournal.org.ua/index.php/mom/article/view/96">https://momjournal.org.ua/index.php/mom/article/view/96</a>
3	Романенко Ю.М., <b>Степанов О.В., Лобода П.І.</b> , Богомол Ю.І. Ефективні теплофізичні властивості порошкових матеріалів при спіканні в умовах електронно-променевого нагрівання. Наукові вісті КПІ. – № 1. – 2021. – С. 63-69. <a href="https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.1.215024">https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.1.215024</a>
4	<b>Мініцький А.В.</b> , Ямшинський М.М., <b>Биба Є.Г.</b> Вплив умов спікання на структуроутворення композиційних матеріалів на основі вольфраму / Метал і литво України. – 2023. – Т. 31, № 2. – С. 64–70. <a href="http://www.metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/221">http://www.metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/221</a>
5	<b>Мініцький А.В.</b> , Поліщук К.В., <b>Юркова О.І.</b> , Мініцька Н.В., <b>Наконечний С.О.</b> Вплив способу введення нікелевої зв'язки на структуру і властивості сплавів на основі вольфраму / Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2023. № 75 с. 134-139. <a href="https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2023.75">https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2023.75</a>
6	<b>Биба Є.Г.</b> , Борисов Ю.С., Борисова А.Л., Бурлаченко О.М., Цимбалиста Т.В., Васильківська М.А. Композиційні порошки на основі аморфізуючого сплаву FeMoNiCrV з добавками тугоплавких сполук для газотермічного нанесення покриттів / Автоматичне зварювання. Київ, 2021. – № 11. – с. 44-53. <a href="https://doi.org/10.37434/as.2021.11.01">https://doi.org/10.37434/as.2021.11.01</a>
7	<b>Minitsky A.V.</b> , Minitska N., Okhrimenko O., Krasnovyd D. Determining the influence exerted by the static conditions of final squeezing on the compaction process of iron based powder materials / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2021. № 1/1 (109). P. 63–68 <a href="https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224941">https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224941</a>
8	<b>Minitskyi A.V., Stepanov O.V., Radchuk S.V., Byba Ye.G., Loboda P.I.</b> 3D Printing of Iron-Based Lattice Structures Produced by Selective Laser Melting // <a href="#">Powder Metallurgy and Metal Ceramics</a> , April 2022, Vol. 61, P. 189–196. <a href="https://doi.org/10.1007/s11106-022-00306-9">https://doi.org/10.1007/s11106-022-00306-9</a>



# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 3, 4. Перелік опублікованих монографій

№ з/п	Повні дані про монографії; <u>підкреслити прізвища авторів</u> , зазначених у списку виконавців
1.	A. Shevchenko , M. Barabash , <u>A. Minitskyi</u> , A. Kushko. Magnetic Solitons in Extended Ferromagnetic Nanosystems Based on Iron and Nickel: Quantum, Thermodynamic, and Structural Effects // SpringerBriefs in Materials, 978-3-031-40430-6. Published: 22 August 2023, 72 p. др.. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-031-40430-6">https://doi.org/10.1007/978-3-031-40430-6</a> (мовами <b>Європейського Союзу</b> . 3 др.арк./авт. – <b>0,75 др. арк.</b> )
2	Directed self-organisation of nanostructures / M.Yu. Barabash, D.O. Grynko,S.O. Sperkach, O.I. Khovavko, <u>A.V. Minitskyi</u> , I.Yu. Trosnikova, E.V. Strativnov, D.S. Filonenko – “Tvoru” publishing house, 2021.–278 p. (11,6 др.арк./авт. – <b>1,45 др. арк.</b> )
3	В'яжучі речовини та методи їх видалення в технології інжекційного лиття: монографія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Авт.: С.В. Завадюк, <u>П.І. Лобода</u> , <u>Т.О. Соловійова</u> , <u>І.Ю.Троснікова</u> – Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2022. – 179 с. (7,5 др.арк./авт. – <b>3,8 др. арк.</b> )
4	Шевченко А.Б., Барабаш М.Ю., <u>Мініцький А.В.</u> , Ховавко О.І. Квантові, термодинамічні та структурні явища в протяжних ферромагнітних наносистемах на основі перехідних металів Fe, Ni, які містять магнітні солітони: монографія / Вінниця: “Tvoru” publishing house; 2022 p. – 104 с. (4,3 др.арк./авт. – <b>1,075 др. арк.</b> )
	<b>Разом: українською мовою – 6,325 др. арк.( авторських)</b>



# ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 5. Отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності

1	<b>Мініцький А.В., Биба Є.Г.,</b> Сисоєв М.О., <b>Лобода П.І., Радчук С.В.</b> Спосіб виготовлення композиційних матеріалів. Патент України на винахід. № 125188 від 26.01.2022. Бюл. № 4 (72). <a href="https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1675011/">https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1675011/</a>
2	Заявка у 2023 04382 від 15/09/2023 на видачу патенту на корисну модель <b>Юркова О.І., Наконечний С.О., Мініцький А.В.,</b> Михайліченко В.В. (студ.), <b>Биба Є.Г.</b> «Створення твердосплавних матеріалів зі зв'язкою з високоентропійного NiFeCrWMo сплаву»

## 6, 7. Перелік захищених дисертацій доктора наук та доктора філософії

1.	<b>Мініцький А.В.</b> «Створення фізико-технологічних основ виготовлення високощільних порошкових матеріалів»: дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спец. 05.16.06, науковий консультант – д.т.н., проф. <b>Лобода П.І.</b> 2021 р., КПІ ім. Ігоря Сікорського
2	Втерковський М.Я. «Створення армованих керамічних матеріалів на основі $V_4C$ для роботи в екстремальних умовах експлуатації», дисертація на здобуття вченого ступеню PhD, за спеціальністю 132 Матеріалознавство. Науковий керівник – д.т.н., проф. <b>Лобода П.І.</b> , дата захисту – 22 грудня 2021 р, КПІ ім. Ігоря Сікорського
3	Ремізов Д.О. «Створення нових конструкційних армованих матеріалів на основі титану та його сплавів з підвищеними фізико-механічними властивостями», дисертація на здобуття вченого ступеню PhD за спеціальністю 132 Матеріалознавство. Науковий керівник – д.т.н., проф. <b>Лобода П.І.</b> , дата захисту – 22 грудня 2021 р., КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 8. Перелік укладених господарчих договорів, проданих ліцензій, отриманих грантових угод поза межами організації-виконавця

№ з/п	ПІБ виконавців	Назва договору	Фінансування, тис. грн.
1.	Лобода П.І. Юркова О.І. Наконечний С.О.	Грант НФД України № 138/0108. «Розробка нового класу металокерамічних композитів із порошків надтвердої армованої кераміки для екстремальних умов експлуатації»	4150,00
2	Лобода П.І., Мініцький А.В., Биба Є.Г.	Госп. дог. 11/17 «Розробка технології виготовлення твердосплавних сердечників з підвищеними технічними характеристиками» (ТОВ «ТВЕ» м. Вінниця)	107,40
3	Мініцький А.В., Биба Є.Г.	Держзамовлення № ДЗ/149 «Розроблення технології виготовлення вискоєфективних елементів протимінного захисту з відходів металообробки»	1500,00
		<b>РАЗОМ:</b>	<b>5757,40</b>

### 9. Перелік створених макету, експериментального/дослідного зразка, інженерної моделі (конструкції, технології, матеріалу), *назва та функціонал*

№ з/п	Назва та функціонал макету, експериментального/дослідного зразка, інженерної моделі (конструкції, технології, матеріалу)
1	Експ./ досл. зразок з композиту WC–BEC

# ПОКАЗНИК, ЩО НЕ ПЛАНУВАВСЯ, АЛЕ БУВ ВИКОНАНИЙ

## Опубліковані монографії офіційними мовами ЄС:

A. Shevchenko , M. Barabash , A. Minitskyi, A. Kushko. Magnetic Solitons in Extended Ferromagnetic Nanosystems Based on Iron and Nickel: Quantum, Thermodynamic, and Structural Effects // SpringerBriefs in Materials, 978-3-031-40430-6. Published: 22 August 2023, 72 p. др..<https://doi.org/10.1007/978-3-031-40430-6> (мовами Європейського Союзу. 3 др.арк./авт. – 0,75 др. арк.).

## Перелік опублікованих навчальних посібників

№ з/п	Повні дані про підручники, навчальні посібники, словники, довідники; підкреслити прізвища авторів, зазначених у списку виконавців
1.	Вибір і комп'ютерний дизайн матеріалів: Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: <b><u>О. В. Степанов</u></b> , Ю. І. Богомол, І.М. Гурія. – Електронні текстові дані (1 файл: , Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 103 с.
2	Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Уклад.: І.Ю.Троснікова, <b><u>А.В. Мініцький</u></b> , <b><u>Є.Г. Биба</u></b> , <b><u>П.І. Лобода</u></b> . – Електронні текстові дані (1 файл, 3.68 Мбайт). – Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2021. – 89 с.

## **Потенційні користувачі**

*(галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації)*

- КНВО «ФОРТ» МВС України
- Сфера національної безпеки та оборони України
- Гірничо-металургійна та газонафтовидобувна галузі.

Результати роботи мають стати підґрунтям для розроблення та вдосконалення методів отримання металокерамічних композитів з підвищеними фізико-механічними властивостями у порівнянні з існуючими світовими аналогами, та створити вітчизняне виробництво каркасних металокерамічних композитів на основі твердих тугоплавких сполук та ВЕС, конкурентоспроможних на світовому рівні.

Дякуємо за увагу!