НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ім. В.М. Бакуля
Україна, 04074, м. Київ – 74, вул. Автозаводська, 2

ПОГОДЖУЮ
Зам. директора інституту,
д-р технічних наук, професор,
член-кореспондент НАНУ
Сергій КЛИМЕНКО
_____ 2024 р
(підпис)
М.П.

ПРОМІЖНИЙ ЗВІТ
(анотований звіт)
про виконану роботу в рамках реалізації проєкту
з виконання наукових досліджень і розробок

«РОЗБУДОВА ЦЕНТРУ КОЛЕКТИВНОГО КОРИСТУВАННЯ ІНМ НАН УКРАЇНИ ЯК НАУКОВО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ БАЗИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПЕРЕДОВИХ НАДТВЕРДИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ»
(назва Проєкту)

Науковий керівник проєкту _____ Володимир ТУРКЕВИЧ

Рік завершення, номер етапу 2024 р., етап № 1

Підготовку звіту завершено «12» грудня 2024 р.

1. **Назва конкурсу** «Дослідницькі інфраструктури для проведення передових наукових досліджень»
2. **Номер державної реєстрації проєкту** 0124U004912
3. **Номер Договору про надання грантової підтримки** 274 /0007
4. **Підстава для реалізації проєкту з виконання наукового дослідження і розробки** Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України протокол від «27» червня 2024 року № 20
5. **Найменування організації/установи грантоотримувача** Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України
6. **Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ наукового керівника проєкту** Володимир ТУРКЕВИЧ
7. **Місце основної роботи та посада наукового керівника проєкту** директор інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України
8. **Терміни та тривалість виконання проєкту:**
   Тривалість проєкту 22,5 **місяців**
   Початок *01.08.2024*
   Закінчення *31.12.2026*
   Тривалість звітного етапу *4,5* **місяців**
   Початок *01.08.2024*
   Закінчення *13.12.2024*
9. **Обсяги фінансування проєкту:**
   Загальний обсяг фінансування:
   за заявкою на отримання грантової підтримки *24 049,7* **тис. грн.** *(формат 1 000,5)*
   за рішенням наукової ради НФДУ *24 049,7* **тис. грн.** *(формат 1 000,5)*
   Обсяг фінансування звітного етапу:
   за заявкою на отримання грантової підтримки *5 000* **тис. грн.** *(формат 1 000,5)*
   за договором на отримання грантової підтримки *5 000* **тис. грн.** *(формат 1 000,5)*
   фактичний *5 000* **тис. грн.** *(формат 1 000,5)*
10. **Перелік виконавців з оплатою праці**

№ з/п	Прізвище, ім'я, науковий ступень, вчене звання	Основне місце роботи або навчання	Наявність статусу молодого вченого (на момент подачі звіту)	Посада за проєктом	Форма залучення виконавця (договір ЦПХ, строковий трудовий договір)	Основні завдання у проєкті (стисло окреслити функції)	Особистий підпис
1	Володимир Туркевич, д.х.н., академік	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Науковий керівник	договір ЦПХ	Координація та управління проєктом. Термодинамічне моделювання.	
2	Ігор Петруша, д.т.н., старший науковий співробітник	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Автор-Виконавець	договір ЦПХ	Експериментальне дослідження композитів групи BL призначених для обробки сталей.	
3	Володимир Кущ, д.ф-м.н., професор	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М.	-	Автор-Виконавець	договір ЦПХ	Мікромеханічне моделювання композитів з некогерентни	

		Бакуля НАН України				ми міжфазними та міжзеренними границями.	
4	Юрій Нікітін, д.т.н., старший науковий співробітник	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Виконавець який не є автором	договір ЦПХ	Аналіз методологій і практик розвитку дослідницької інфраструктури. Робота з фондом.	
5	Сергій Старик, к.т.н., старший дослідник	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Виконавець який не є автором	договір ЦПХ	Забезпечення формування та розвитку передової дослідницької інфраструктури. Тендерна документація.	
6	Олександр Осіпов, к.т.н., старший науковий співробітник	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Виконавець який не є автором	договір ЦПХ	Дослідження термобаричних параметрів спікання на формування композиційних матеріалів групи BL	
7	Денис Стратійчук, д.т.н., старший науковий співробітник	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Виконавець який не є автором	договір ЦПХ	Дослідження реакційних механізмів спікання композиційних матеріалів групи BL	
8	Юрій Мельнійчук, к.т.н., старший науковий співробітник	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	-	Виконавець який не є автором	договір ЦПХ	Дослідження властивостей композитів на зносостійкість, призначених для обробки сталей.	
9	Ярослав Романенко, к.т.н.	Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України	Молодий вчений	Виконавець який не є автором	договір ЦПХ	Координація групи. Аналіз ролі інфраструктури у розвитку науки. Дослідження формування надтвердої кераміки BL групи, для обробки сталей.	

11. **Стислий зміст проєкту** *(актуальність, мета, основні завдання, ідеї, гіпотези тощо до 20 рядків)* Інвестиції в дослідження та інновації, а також активна міжнародна співпраця в науковій сфері є критично важливими для забезпечення економічного зростання країн Європи. Європейські дослідницькі інфраструктури виконують ключову роль у розвитку нових технологій, ефективності наукових досліджень і забезпеченні сталого розвитку інноваційної екосистеми континенту. Розробка передових надтвердих матеріалів з підвищеними властивостями зносостійкості та міцності є необхідною для підвищення продуктивності та якості обробки деталей з дорогих конструкційних матеріалів та суперсплавів, що є стратегічно важливим для промисловості. Це дослідження має на меті розвиток наукового напрямку, спрямованого на створення нових композиційних матеріалів, а також удосконалення Центру колективного користування інституту до рівня дослідницької інфраструктури Європейського типу, що сприятиме інтеграції наукової спільноти Інституту надтвердих матеріалів НАН України в Європейський дослідницький простір.

    Досягнення амбітних цілей дослідження на першому етапі проєкту проводилось в рамках двох основних завдань:

    1) Проведення аналізу теоретико-методологічних підходів та ефективних практик формування і розвитку передової дослідницької інфраструктури, інтегрованої до Європейського дослідницького простору.

    2) Розвиток термодинамічного, мікромеханічного та комп'ютерного моделювання композитних матеріалів з некогерентними міжфазними та міжзеренними границями.

12. **Основні результати виконання попереднього етапу** *(за наявності, до 20 рядків)* Немає.
13. **Номер та назва звітного етапу** *(за наявності)* Формування підходів та ефективних практик передової дослідницької інфраструктури та термодинамічне моделювання нових надтвердих композиційних матеріалів
14. **Опис процесу реалізації проєкту** *(опишіть хід виконання, які дослідження проводились, які методики використовувались, які гіпотези вдалось довести/спростувати тощо, до 50 рядків)* Процес реалізації дослідження за звітним етапом включав два основні напрямки відповідно до завдань проєкту. Перший напрямок дослідження вимагав комплексного підходу до аналізу розвитку дослідницьких інфраструктур, інтегрованих у Європейський дослідницький простір. Для проведення першого напрямку досліджень було використано кілька методологічних підходів, які поєднують якісний і структурний аналіз. Зокрема, порівняльний аналіз дозволив оцінити ролі, функції та фінансові механізми дослідницьких інфраструктур, а також виявити ключові відмінності між організаційними моделями європейських дослідницьких установ. Системний підхід забезпечив розгляд інтегрованості дослідницьких інфраструктур у спільний простір через взаємодію на національному, європейському та міжнародному рівнях. Інтерпретаційний аналіз допоміг розкрити роль національних і міжнародних організацій у розвитку інфраструктур, зокрема щодо надання статусу ERIC, що впливає на фінансові та юридичні аспекти. Практичні методи включали контент-аналіз офіційних документів, аналіз дорожніх карт Європейського стратегічного форуму дослідницьких інфраструктур та кейс-стаді окремих об'єктів ERIC. Галузевий аналіз дозволив систематизувати напрями досліджень, а оцінка міжнародної співпраці виявила ресурси, доступні вченим із різних країн. Всі ці підходи сприяли розумінню стратегічної ролі ERIC у розвитку наукових ініціатив у Європі та дозволили виділити інфраструктури, які працюють у природничих науках, і обрати одну для потенційної співпраці у сфері матеріалознавства надтвердих матеріалів.

    У рамках реалізації другого напрямку дослідження було проведено термодинамічне моделювання процесу спікання алмазно-твердосплавних пластин у потрійній системі C-Co-W із використанням програмного пакета Thermo-Calc. Для розрахунку фазових рівноваг при тисках 0,1 МПа та 6 ГПа застосовано базу даних 2008 року, розроблену Walle A. та Nataraj C., а також їх моделі наближення. Баричні залежності мольних об'ємів фаз представлено у наближенні Murnaghan F.D. Значення мольних об'ємів фаз, модулів стиску та їхніх похідних, коефіцієнтів термічного розширення для розрахунку залучено з баз даних, які підтримує Springer Materials або оцінено за значеннями аналогічних величин відомих карбідів.

Результати термодинамічного моделювання дозволили дослідити вплив високих тисків і температур на фазові рівноваги та термодинамічну стабільність, що закладає основу для подальшої оптимізації технологічних процесів виготовлення композитів. Додатково було вивчено термічні та баричні властивості системи, зокрема її стабільність у різних умовах.

Окремо виконано мікромеханічне моделювання крихкої міцності двофазних керамічних композитів, таких як cBN-TiN. Для цього застосовано статистичний підхід на основі теорії Вейбула, що дозволило оцінити механічні властивості матеріалів із урахуванням їхньої структурної неоднорідності та поведінки на мікрорівні. У поєднанні з методами генерації статистично обґрунтованих моделей цей підхід дає можливість прогнозувати та підвищувати міцність матеріалів у практичних умовах.

15. Результати виконання звітного етапу відповідно до Технічного завдання до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки / Календарного плану виконання наукового дослідження і розробки:

15.1. Заплановані завдання звітного етапу проєкту *(перерахуйте завдання звітного етапу, окреслені у Календарному плані виконання наукового дослідження і розробки, до 20 рядків)*

Завдання 1: Аналіз теоретико-методологічних підходів та ефективних практик формування та розвитку передової дослідницької інфраструктури інтегрованої до Європейського дослідницького простору

Завдання 2: Термодинамічне, мікромеханічне та комп'ютерне моделювання композитів з некогерентними міжфазними та міжзеренними границями

15.2. Отримані результаті звітного етапу проєкту

(опишіть отримані результати виконавцями протягом звітного етапу, посилаючись на заплановані та досягнуті цілі, задачі та індикатори виконання, задані в Технічному завданні до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки / Календарному плані виконання наукового дослідження і розробки. Включіть посилання на публікації у наукових виданнях, інші показники з п. 18, що є підтвердженням досягнення індикаторів виконання етапу, до 70 рядків)

За результатами виконання завдання 1 було сформовано розділ звіту «Аналіз підходів та ефективних практик формування та розвитку передової дослідницької інфраструктури, інтегрованої до Європейського дослідницького простору». У цьому розділі проведено термінологічний аналіз понять, таких як «дослідницькі інфраструктури», «відкриті наукові інфраструктури», «відкрита наука», «дослідницький простір» та «Європейський дослідницький простір». На основі термінологічного дослідження встановлено, що дослідницькі інфраструктури, відкриті наукові інфраструктури та відкрита наука є ключовими підходами до розвитку Європейського дослідницького простору на стратегічному та операційному рівнях. Дослідницькі інфраструктури визначено як інтегратори національних та регіональних дослідницьких просторів. Вони створюють умови для формування інтегрованих дослідницьких просторів із підвищеною мобільністю та взаємозв'язком, забезпечуючи вченим легкий доступ до сучасних інструментів дослідження. За результатами термінологічного аналізу понять опубліковано тези у матеріалах міжнародної конференції «Sciense in the Environment of Rapid Changes» [3].

Результати дослідження продемонстрували, що формування та розвиток дослідницьких інфраструктур базується на різноманітних організаційних моделях, які включають: центральні джерела та лабораторії для проведення експериментів і вимірювань; координацію та управління географічно розподіленими обсерваторіями чи лабораторіями; віддалений доступ до обчислювальних ресурсів, баз даних, сховищ фізичних зразків і опитувальних платформ. Встановлено, що тип дослідницької інфраструктури визначає відповідну організаційну модель, яка, у свою чергу, впливає на методологію її формування та розвитку. Аналіз цих типів показав, що кожен із них має специфічні особливості, які необхідно враховувати при створенні ефективних організаційних підходів.

Результати дослідження засвідчили, що аналіз європейських підходів до створення та розвитку дослідницьких інфраструктур дозволив визначити стратегічні та операційні моделі, які формують основу для їх ефективного функціонування. Зокрема, такими підходами є:

- Європейський стратегічний форум дослідницьких інфраструктур (ESFRI).
- Європейський консорціум дослідницької інфраструктури (ERIC).
- Європейський форум (EIRO Forum).
- Асоціація дослідницьких інфраструктур європейського рівня (ERF-AISBL).
- Глобальний науковий форум OECP (GSF).
- Європейська хмара відкритої науки (EOSC).

Аналіз цих підходів показав, що дослідницькі інфраструктури сприймаються не як ізольовані структури, а як невід'ємна частина інтегрованої системи, спрямованої на довгостроковий розвиток науки й інновацій. Вони створюють центри знань і інновацій, навколо яких зосереджуються найсучасніші наукові ресурси, експертні знання та креативність високого рівня. Дослідницькі інфраструктури забезпечують простір для обміну знаннями та ідеями, що сприяє як проривним відкриттям, так і поступовим інноваціям. Вони також є важливим ресурсом для промисловості, формуючи платформу для ефективної співпраці між академічними колами та виробничим сектором. Стратегічні та операційні підходи до формування Європейських дослідницьких інфраструктур відповідають ключовим пріоритетам Європи. Вони спрямовані на підтримку передової науки та створення умов, у яких наукові досягнення можуть сприяти вирішенню актуальних соціально-економічних та екологічних викликів, з якими стикається сучасне суспільство.

Одним із найголовніших результатів аналізу стратегічних підходів до формування та розвитку Європейських дослідницьких інфраструктур є визнання унікальної ролі Європейського консорціуму дослідницької інфраструктури (ERIC). Саме ERIC став вирішальним інструментом для подолання правових та адміністративних обмежень, характерних для інших підходів. Завдяки цьому механізму міжнародні дослідницькі інфраструктури отримали правосуб'єктність, що значно спростило процедури участі для країн, усунувши необхідність у парламентській ратифікації. Впровадження ERIC стало потужним стимулом для міжнародної наукової співпраці. Воно дозволило не лише інтегрувати національні ресурси в єдину європейську систему, але й забезпечило низку переваг, серед яких податкові пільги, митні спрощення та стабільні правові рамки для дослідницьких інфраструктур. Ці механізми сприяють ефективному використанню наукового потенціалу країн-учасниць та створюють сприятливі умови для сталого розвитку міжнародних дослідницьких ініціатив.

Проведено аналіз і систематизацію сучасного стану розвитку ERIC з урахуванням останніх змін і даних станом на 2024 рік. Представлена інформація охоплює ключові аспекти розвитку науки на європейському рівні, включаючи фінансові механізми, організаційні принципи та особливості міжнародної наукової кооперації. Аналітичний огляд структуровано за основними напрямками діяльності ERIC, що включає кількість країн-учасниць, установ, залучених до консорціуму, та обсяги їхніх річних бюджетів. Розглянуто динаміку розширення ERIC, включаючи етапи його розвитку, географічний розподіл інфраструктур і залежність обсягів фінансування від галузевих пріоритетів. Особливу увагу приділено дослідницьким інфраструктурам, що функціонують у рамках ERIC, із систематизацією їхньої діяльності за галузями знань. Такий підхід дозволив ідентифікувати інфраструктуру CERIC, орієнтовану на дослідження у сфері матеріалознавства, що є особливо важливим для підтримки та розвитку інноваційних наукових досліджень надтвердих матеріалів.

Згідно календарного плану по завданню 2 «Термодинамічне, мікромеханічне та комп'ютерне моделювання композитів з некогерентними міжфазними та міжзеренними границями» виконавцями проєкту було проведено термодинамічне моделювання процесу спікання алмазно-твердосплавних пластин в потрійній системі C-Co-W та мікромеханічне моделювання двофазної кераміки cBN-TiN

Результати показали, що високі тиски сприяють стабілізації карбіду кобальту Co_3C, однак при температурі 1325 К і тиску 6 ГПа ця фаза стає термодинамічно нестабільною. Температура появи рідкої фази збільшується з 1550 К (0,1 МПа) до 1655 К (6 ГПа). Вище цієї температури починається просочення рідкої фази у алмазний шар. За температури 2006 К (6 ГПа) спостерігали рівновагу графіт–алмаз. Тому підвищення температури вище 2006 К призведе до графітизації алмазного шару. Отже, спікання алмазно-твердосплавних пластин можливе під тиском 6 ГПа в температурному діапазоні 1655–2006 К. Однак ці цифри не враховують кінетичний фактор спікання, який визначається швидкістю просочування, коефіцієнтами дифузії, швидкостями розчинення і кристалізації. Експерименти показують, що якщо за температури 1670 К завершення процесу спікання потребує 30 хв, то за 1900 К цей процес може завершитись за 1 хв. Зіставлення результатів термодинамічних розрахунків діаграми стану системи карбон–кобальт–вольфрам за тисків 0,1 МПа та 6 ГПа з експериментальними даними фазового складу зразків полікристалічного алмазного шару на твердосплавній підкладці, спечених в умовах високих тисків і температур, підтвердило їхню узгодженість [1].

Методом скінченних елементів побудована мікромеханічна модель для прогнозування крихкої міцності двофазних керамічних композитів cBN–TiN. Визначено, що міцність двофазної кераміки визначається переважно властивостями менш міцної фази, що підтверджується результатами обчислень. Статистичний аналіз функції показав, що ефективний параметр Вейбула двокомпонентної кераміки cBN–TiN зростає зі збільшенням як σ_{02}/σ_{01}, так і об'ємного вмісту більш міцної фази. Розрахована крихка міцність на стиск в 7–8 разів перевищує міцність на розтяг, що узгоджується з відомими літературними даними, і є підтвердженням адекватності розвинутої моделі. З іншого боку це означає, що побудова макроскопічної теорії крихкої міцності таких матеріалів вимагає розгляду, крім ефективних модулів Вейбула, ще й відповідного макроскопічного критерію руйнування [2].

У рамках проєкту досліджено композити системи cBN(Al)-SiB_4-WC, спечених за високого тиску (7,7 ГПа) та температур (1600–2300 °C). Основними фазами матеріалу є cBN, W_2B_5, WSi_2, α-Al_2O_3, які формують однорідну пористу структуру. Встановлено, що оптимальні властивості досягаються за температури 2000 °C, тоді як подальше підвищення температури погіршує характеристики через графітизацію cBN. Отримані матеріали придатні для обробки високолегованих сталей за високих температур [4].

Експериментальне дослідження композитів групи BL із вмістом КНБ 70-75 об % за інтенсивністю зношування при чистовому точінні високотвердих (60–64 HRC) залізовуглецевих сплавів із високими швидкостями різання v = 180-270 м/хв поступаються на 25-30% аналогічним композитам із низьким вмістом КНБ (50–55 об %), проте дозволяють проводити обробку при незначних динамічних навантаженнях на інструмент, що відповідає умовам напівчистового точіння. В таких умовах обробка композитами із низьким вмістом КНБ (50-55 об %) призводить до швидкого руйнування різальної вершини інструменту шляхом утворення мікро-макросколювань інструментального матеріалу. Точіння різальними пластинами із композитів з вмістом КНБ 70-75 об % може проводитись із підвищеними подачами (S = 0,2-0,3 мм/об) при високій стійкості інструменту (25-30 хв), що значно розширює сферу застосування композитів групи BL інструментального призначення [5].

Отримані результати підтверджують доцільність використання термодинамічного, та мікромеханічного моделювання для прискорення розробки нових передових надтвердих композиційних матеріалів, забезпечуючи комплексний підхід до проектування їх структури та властивостей. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість експериментальних етапів, необхідних для створення нових матеріалів, що значно скорочує час та знижує витрати на їх розробку, відкриває можливості для створення матеріалів із заздалегідь заданими характеристиками, що є важливим інструментом для прискорення інновацій у галузі надтвердих композиційних матеріалів

15.3. Відхилення від Календарного плану виконання наукового дослідження і розробки (за наявності) *(вкажіть та детально обґрунтуйте можливі відхилення від Технічного завдання до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки / Календарного плану виконання наукового дослідження і розробки, до 30 рядків)* Немає.

16. Наукова цінність і актуальність отриманих результатів
(науково-технічної продукції), їх порівняння з українськими та/або кращими закордонними аналогами, до 30 рядків).

Результати роботи мають вагоме значення для розвитку сучасної науки, оскільки поглиблюють розуміння стратегій інтеграції дослідницьких інфраструктур у глобальний науковий простір. Узагальнені дані можуть бути використані для формування національних і міжнародних політик щодо розвитку інфраструктур, підвищення їхньої ефективності й доступності. Висвітлення ролі Європейської хмари відкритої науки (EOSC) та інших ініціатив сприяє ефективнішому використанню наукових результатів, прискорює процеси інновацій і робить науку доступнішою для суспільства.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження може бути сформульована таким чином:

Узагальнено та систематизовано стратегічні й операційні підходи розвитку дослідницьких інфраструктур у Європейському дослідницькому просторі (ЄДП), які охоплюють життєвий цикл інфраструктур, інституційні зміни, партнерські ініціативи та інтеграцію різних моделей доступу.

Розкрито унікальну роль механізмів ERIC та ESFRI у підтримці інтеграції дослідницьких ресурсів, розробці дорожніх карт інфраструктур, а також забезпеченні фінансової й операційної стійкості дослідницьких ініціатив на наднаціональному рівні.

Проведений аналіз термінологічної бази дослідницького простору на різних рівнях (міжнародному, європейському, національному) дозволив визначити загальні елементи, такі як підтримка досліджень і інновацій, а також відмінності, які відображають специфіку правового, економічного та соціального контексту. Результати такого аналізу підкреслюють необхідність гармонізації понять для ефективної інтеграції міжнародних дослідницьких систем.

Представлений аналіз Європейського дослідницького простору може бути основою для рекомендацій щодо створення нових дослідницьких інфраструктур у галузі матеріалознавства, зокрема для ініціатив, які можуть бути підтримані Україною у співпраці з європейськими партнерами.

Вперше виконано термодинамічне моделювання процесу спікання алмазно-твердосплавних пластин у системі C-Co-W, що дозволило визначити оптимальні умови для стабільного формування алмазної фази (тиск 6 ГПа, температурний інтервал 1655–2006 К) та виявити межі термостабільності алмазу. Встановлено, що температура понад 2006 К призводить до зворотного фазового переходу алмаз-графіт, що підтверджено експериментальними даними.

Розроблено та верифіковано мікромеханічну модель для двофазної кераміки cBN-TiN, яка враховує залежність ефективного модуля Вейбула від співвідношення початкових напружень фаз (σ_{02}/σ_{01}) та об'ємного вмісту міцнішої фази. Модель підтверджує крихку природу матеріалу з міцністю на стиск, що перевищує міцність на розтяг у 7-8 разів, і узгоджується з літературними даними.

Встановлено реакційні механізми спікання в композиційній системі cBN(Al)-SiB_4-WC при температурі 1600–2200 °C, що забезпечують формування надтвердої кераміки з високими експлуатаційними характеристиками для високошвидкісної обробки нікелевих і хромистих сталей.

Виявлено, що композити на основі cBN із вмістом кубічного нітриду бору 50–55 об % демонструють на 20-25% вищу зносостійкість у порівнянні з матеріалами з високим вмістом cBN (70-75 об %) при обробці загартованої сталі ХВГ на швидкості до 270 м/хв. Такий результат

пояснюється оптимальним балансом фазового складу для роботи в умовах високих температур і навантажень.

Оптимізація термодинамічних і мікромеханічних параметрів на основі розроблених моделей дозволила запропонувати нові конструкції cBN-композитів для різальних інструментів, що забезпечують підвищену зносостійкість і стабільність їхньої роботи при високошвидкісній металообробці.

17. Практична цінність результатів для потреб оборони, безпеки, економіки та/або суспільства України *(у разі наявності, до 30 рядків)*

Результати цього дослідження можуть сприяти стійкому розвитку ключових секторів української економіки, підвищенню національної безпеки, забезпеченню довгострокових стратегічних цілей розвитку України та інтенсифікації її інтеграції до Європейського Союзу. Практична цінність отриманих результатів дослідження для потреб оборони, безпеки, економіки та суспільства України може бути сформульована таким чином:

Модернізація Центру колективного користування – дослідницької інфраструктури – дозволить підвищити ефективність наукових досліджень у сфері оборони та безпеки, зокрема в контексті розробки новітніх матеріалів, технологій та аналітичних інструментів для потреб армії. Інтеграція українських наукових центрів у міжнародні дослідницькі мережі підвищить здатність швидко реагувати на виклики безпеки, зокрема у сфері технологічних інновацій, які мають важливе значення для національної оборони.

Підвищення ефективності використання дослідницьких інфраструктур сприятиме розвиткові інноваційних секторів економіки України. Зокрема, покращення доступу до сучасних аналітичних інструментів і обладнання дозволить створювати нові продукти та послуги, стимулюючи розвиток високотехнологічних галузей (нанотехнології, новітні матеріали, зелена енергетика). Інтеграція у міжнародні проєкти та дослідницькі мережі дозволить залучати додаткові фінансові ресурси та створювати нові можливості для розвитку приватного сектору та малих і середніх підприємств, що використовують інноваційні технології.

Створення ефективних моделей колективного користування сучасними науковими інструментами відкриє нові можливості для українських науковців, зокрема в галузях фізики і матеріалознавства. Це дозволить значно покращити рівень наукових досліджень, збільшити кількість публікацій і підвищити їх міжнародну конкурентоспроможність.

Розвиток та інтеграція наукових інфраструктур також сприятиме розвитку системи освіти, оскільки створення сучасних лабораторій і центрів дозволяє залучати студентів і молодих дослідників до передових наукових практик і міжнародних дослідницьких проєктів. Стимулювання співпраці з міжнародними організаціями підвищить глобальну репутацію України як інноваційної держави, здатної активно розвивати науку, технології та впроваджувати інновації на міжнародному рівні.

Модернізований Центр колективного користування може бути використаний у формуванні нових освітніх програм, що інтегрують сучасні аналітичні методи та інструменти до навчального освітнього та наукового середовища.

Проведений аналіз дає чітке уявлення про правову, фінансову та організаційну базу Європейського консорціуму дослідницьких інфраструктур (ERIC), що може бути корисним для дослідників освітніх і наукових установ України, які прагнуть приєднатися до ERIC або використовувати його ресурси для своїх проєктів.

Отримані результати термодинамічного моделювання процесу спікання алмазно-твердосплавних пластин у системі C-Co-W мають важливе значення для оптимізації технологій виробництва високотемпературних та високонавантажених матеріалів, що використовуються в інструментах для обробки твердих матеріалів. Визначені оптимальні умови спікання сприятимуть підвищенню якості та стабільності виробів, а також зменшенню їхнього дефектного відсотка.

Результати мікромеханічного моделювання для двофазної кераміки cBN-TiN можуть бути використані для розробки нових композитних матеріалів з покращеними механічними властивостями, зокрема для високонавантажених конструкцій, що працюють в умовах інтенсивного механічного впливу та високих температур. Це дозволить створювати більш ефективні та довговічні матеріали для виробництва інструментів із надтвердих матеріалів.

Виявлені механізми спікання та формування надтвердих керамік у композиційній системі cBN(Al)-SiB4-WC забезпечить створення нових матеріалів для інструментів, що використовуються при обробці нікелевих і хромистих сталей, що підвищить ефективність і зносостійкість інструментів у високошвидкісній металообробці.

Отримані дані щодо впливу вмісту cBN на зносостійкість матеріалів дозволять удосконалити конструкцію різальних інструментів для металообробки, сприяючи підвищенню ефективності процесів, що включають обробку матеріалів на високих швидкостях, зменшуючи витрати на заміну та обслуговування інструментів.

18. Основні кількісні індикатори виконання звітного етапу *(у таблиці мають бути відображені індикатори, які було заплановано в Технічному завданні до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки із зазначенням відповідного фактичного кількісного виконання цих індикаторів. Якщо у Технічному завданні до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки кількісні показники не планувались, то у таблиці відображаються лише показники у разі їх наявності / виконання)*

№ з/п	Індикатори виконання	Заплановано (відповідно до КП), кількість	Фактично отримано (відповідно до КП), кількість
1.	**Публікація результатів:**	5	
1.1.	Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних:		
	- Scopus та/або Web of Science Core Collection, всього, од.		
	з них із квартилем Q1 і Q2 на момент опублікування, од.		
	з них із квартилем Q3 і Q4 на момент опублікування, од.		2
1.2.	Статті у наукових журналах (без квартилю), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п.1.1) , од.	2	
1.3.	Статті у фахових виданнях України категорії «Б» , од.		
1.4.	Статті у періодичних виданнях інших країн, що мають ISSN, од.		

1.5.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.	3	3
1.6.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) у закордонних видавництвах іноземними мовами, од.		
1.7.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) в українських видавництвах, од.		
1.8	Словники, довідники, енциклопедії, видані українськими та/або закордонними видавництвами , од.		
1.9	Інші публікації, які не описані у пп. 1.1-1.8, од.		
2.	**Презентація та дисемінація результатів:**		
2.1.	Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції, од.		
2.2.	Всеукраїнські та регіональні науково-технічні/промислові виставкові заходи, од.		
2.3.	Представлення розробки/бізнес-плану/результатів проєкту на:		
	інноваційних фестивалях, од.		
	конкурсах стартапів, од.		
	акселераційних програмах, од.		
	хакатонах, од.		
2.4.	Науково-популярні публікації з метою поширення інформації про результати проєкту для загальної (широкої) аудиторії, од.		
2.5.	Представлення інформації про результати проєкту на науково-популяризаційних заходах (Дні науки, Наукові пікніки тощо) , од.		
2.6.	Інші заходи, які не описані у пп. 2.1-2.5, од.		
3.	**Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності (ОПІВ)**		
3.1	Отримано патентів України на винахід, од.		

3.2.	Отримано свідоцтв України на промисловий зразок , од.		
3.3.	Отримано патентів України на корисну модель, од.		
3.4	Отримано охоронний документ на ОПІВ інших країн, од.		
3.5	Інші ОПІВ, які не описані у пп. 3.1-3.4, од.		
3.6	Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн, од.		
4.	**Впровадження та використання наукових або науково-практичних результатів:**		
4.1.	Підписання (укладання) договорів (угод) на впровадження (використання) результатів проєкту (окрім індивідуальних), серед них:		
4.1.1	Господарських договорів/контрактів, од./тис.грн.		
4.1.2	Ліцензійних договорів/договорів на ноу-хау, од./тис.грн.		
4.1.3	Грантових угод, од./тис.грн.		
4.1.4	Інші договори (угоди), які не описані у пп. 4.1.1-4.1.3, од./тис. грн.		
4.4	Документально підтверджено використання результатів у практиці органів державної/місцевої влади, суспільних практиках тощо, од.		
4.5	Проведено маркетингові дослідження, перемовини з потенційними замовниками із підписанням протоколу (меморандуму, угоди) про наміри комерційного впровадження результатів, од.		
4.6	Подано заявок на державні, міжнародні наукові гранти (окрім індивідуальних) , од.		
5.	**Створено чи істотно удосконалено/покращено існуючі:**		
5.1.	Пристрої (макет, експериментальний/дослідний зразок) , од.		
5.2.	Матеріали, процеси, технології, технологічні регламенти, цифрові продукти та електронні сервіси, од.		
5.3.	ТУ, ДСТУ, будівельні норми, зареєстровані проєкти законодавчих актів, од.		
5.4.	Наукові (науково-технічні) послуги, од.		
5.5	Іншу продукцію, яка не описана у пп. 5.1-5.4, од.		

19. Відхилення від запланованих індикаторів, зазначених у п. 18 *(у разі наявності зазначити і обґрунтувати причини таких відхилень та їх вплив на подальше виконання проєкту, до 20 рядків)* Немає.

20. Вихідні дані щодо показників виконання відповідно до п. 18 *(зазначити дані про публікації, конференції, отримання ОПІВ, впровадження, створення НТП, залучення молодих вчених тощо з додаванням Web-посилання (за наявності) на ресурси, де вони розміщенні)*

1. В.З. Туркевич, О.О. Матвійчук, Li Decheng, Д.В. Туркевич. Термодинамічне моделювання процесу спікання алмазно-твердосплавних пластин в системі C–Co–W під тиском 6 ГПа // Надтверді матеріали. - 2024. – N6. - С.97-100. (Q3)

2. В.І. Кущ, А.С. Манохін, С.А. Клименко. Теоретична оцінка крихкої міцності двофазної кераміки cBN–TiN // Надтверді матеріали. - 2024. – N6. - С.55-59. (Q3)

3. Nikitin Y.A. Research infrastructures as a key approach to the development of the European research area // Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference "Sciense in the Environment of Rapid Changes" Brussels, Belgium, November 6-8, 2024 (№223), pp.14-22.

4. Volodymyr Turkevych, Ihor Petrusha, Denys Stratiychuk, Tetiana Prikhna, Yaroslav Romanenko. Influence of HPHT on the formation of structure and properties of superhard composite materials of BL group of the cBN(Al)-SiB4-WC system // 8th Int. Symposium on New & Advanced Materials and Technologies for Energy, Environment, Health and Sustainable Development; Sustainable Industrial Processing Summit (SIPS 2024), 20-24 October 2024, Crete, Greece.

5. Ю.О. Мельнійчук, І.А. Петруша, О.С. Осіпов. Інструментальний композит на основі КНБ для високошвидкісної обробки з високими подачами // Матеріали 24-ї міжнародної науково-практичної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика; ЯСК-2024» Україна, м. Житомир, 24-26 вересня 2024 р., с.99-101.

До звіту додаються електронні копії наукових публікацій, охоронних документів, інша наукова продукція із вказанням DOI *(окрім матеріалів, які містять інформацію з обмеженим доступом, Додаток 1 до Проміжного звіту).*

- у випадку необхідності надання друкованої версії звіту, до нього додаються друковані додатки *(окрім великих (більше 50 сторінок) за обсягом - монографії, підручники, словники тощо та інші матеріали).*

21. Рішення вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації/установи грантоотримувача щодо результатів розгляду Проміжного звіту *(стисло зазначити текст висновку ради про відповідність/невідповідність виконаних за проєктом робіт Технічному завданню до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки)* Вчена рада ухвалила проміжний етап проекту «Розбудова центру колективного користування ІНМ НАН України як науково-інструментальної бази для створення передових надтвердих композиційних матеріалів» вважати виконаним в повному обсязі відповідно до Технічного завдання та Календарного плану договору від 01.08.2024 р. № 274/0007. Звіт про проміжні результати реалізації Проєкту (анотований звіт про виконану роботу в рамках реалізації етапу) у 2024 році затвердити та надати Національному фонду досліджень України (Грантонадавачу). (Витяг з протоколу №9 засідання Вченої ради від 28.11.2024 р.)

Додаток 2 – копія витягу з протоколу вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації/установи грантоотримувача.

22. Анотація основних результатів звітного етапу проєкту *(готується українською та англійською мовами, до 30 рядків кожною мовою, викладається науково-популярним стилем)*

На першому етапі виконання дослідження представлено аналіз підходів та ефективних практик формування та розвитку Європейських дослідницьких інфраструктур, які можуть бути застосовані для розробки моделі розвитку дослідницької інфраструктури центру колективного користування в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Проведене термодинамічне моделювання процесів спікання алмазно-твердосплавних пластин

у потрійній системі C-Co-W дозволило оцінити вплив різних параметрів на фазові рівноваги і термодинамічну стабільність, що стало основою для подальшої оптимізації технологічних процесів. Використання сучасних програмних засобів для проведення розрахунків дозволило детально вивчити баричні та термічні властивості системи, а також врахувати вплив високих тисків на стабільність фазових переходів.

Додатково, важливим аспектом дослідження на цьому етапі, є мікромеханічне моделювання крихкої міцності двофазних керамічних композитів, зокрема cBN-TiN, що має великі перспективи в застосуванні для фінішної металообробки на високих швидкостях різання. Статистичний підхід, зокрема теорія Вейбула, дозволила адекватно оцінити механічні властивості таких матеріалів, враховуючи їх структурну неоднорідність і поведінку на мікроструктурному рівні.

Показано як об'єднання методів термодинамічного та мікромеханічного моделювання суттєво прискорює розробку нових передових надтвердих композиційних матеріалів, забезпечуючи комплексний підхід до проектування їх структури та властивостей. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість експериментальних етапів, необхідних для створення нових матеріалів, що значно скорочує час та знижує витрати на їх розробку, відкриває можливості для створення матеріалів із заздалегідь заданими характеристиками, що є важливим інструментом для прискорення інновацій у галузі надтвердих композиційних матеріалів.

At the initial stage of the research, an analysis of approaches and effective practices for the formation and development of European research infrastructures was conducted. These approaches can be applied to develop a model for the growth of the research infrastructure of the shared-use center at the V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Thermodynamic modeling of the sintering processes of diamond-carbide plates in the ternary C-Co-W system enabled an evaluation of the effects of various parameters on phase equilibria and thermodynamic stability. This became the foundation for further optimization of technological processes. Utilizing modern software tools for calculations provided a detailed study of the baric and thermal properties of the system and accounted for the influence of high pressures on the stability of phase transitions.

Additionally, a significant aspect of this stage of the research was micromechanical modeling of the brittle strength of two-phase ceramic composites, particularly cBN-TiN, which holds great potential for high-speed cutting applications in finishing metalworking. The statistical approach, including Weibull theory, allowed for an adequate assessment of the mechanical properties of such materials, taking into account their structural heterogeneity and behavior at the microstructural level.

It has been demonstrated how the combination of thermodynamic and micromechanical modeling methods significantly accelerates the development of new advanced superhard composite materials, providing a comprehensive approach to designing their structure and properties. This approach minimizes the number of experimental stages required to create new materials, significantly reducing development time and costs. It also opens up opportunities for creating materials with predefined characteristics, which is a critical tool for accelerating innovation in the field of superhard composite materials.

Додаток 3

23. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з аналогами, що існують, до 10 рядків

Представлені результати досліджень поглиблюють розуміння стратегій інтеграції дослідницьких інфраструктур у глобальний науковий простір та сприяють ефективнішому

використанню наукових результатів. Узагальнені підходи до розвитку інфраструктур у Європейському дослідницькому просторі охоплюють весь життєвий цикл, інституційні зміни та партнерські ініціативи. Запропоноване термодинамічне моделювання процесу спікання алмазно-твердосплавних пластин, дозволяє визначати оптимальні умови для стабільного формування алмазної фази. Розроблена модель структурно-неоднорідного матеріалу, яка враховує статистичні мікроструктурні особливості матеріалу із застосуванням теорії Вейбула, дозволяє розраховувати крихку міцність при навантаженнях двофазної системи.

24. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів *виконання Проєкту* в суспільній практиці.

Результати дослідження можуть бути використані для формування національних і міжнародних політик у сфері розвитку дослідницьких інфраструктур, зокрема для підвищення їх ефективності, доступності та інтеграції в глобальний науковий простір. Узагальнені підходи до розвитку інфраструктур, які враховують інституційні зміни та партнерські ініціативи, здатні сприяти вдосконаленню управління науковими ресурсами та підтримці інноваційних проєктів на міжнародному рівні.

Розроблені підходи термодинамічного та мікромеханічного моделювання можуть бути впроваджені у виробничі процеси для оптимізації умов створення надтвердих матеріалів, зменшення витрат та підвищення ефективності. Отримані дані дозволять створювати нові матеріали з наперед заданими характеристиками для високошвидкісної обробки металів, що є важливим для машинобудування, аерокосмічної та оборонної галузей.

Дослідження можуть також сприяти популяризації науки завдяки більш ефективному використанню наукових результатів і розвитку відкритих платформ. Це забезпечить більшу доступність інновацій для суспільства, стимулюючи технологічний прогрес і прискорюючи розв'язання актуальних соціальних викликів.

Примітка: Проміжний звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування.

Науковий керівник Проєкту
директор інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України
(посада)

Володимир ТУРКЕВИЧ
(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)