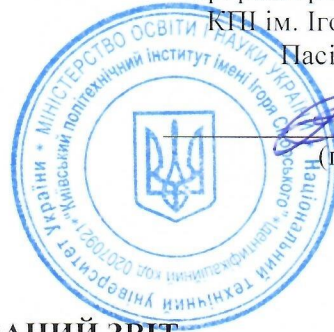


ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
Пасічник В.А.



(підпис)  
М.П.

## АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту  
із виконання наукових досліджень і розробок

«Розробка нового класу металокерамічних композитів із порошків надтвердої армованої кераміки для екстремальних умов експлуатації»

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»  
Ресстраційний номер Проєкту: 2020.02/0108

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0108, «Розробка нового класу металокерамічних композитів із порошків надтвердої армованої кераміки для екстремальних умов експлуатації».

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21.

### 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту  
Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;  
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 11,5 млн. грн. (одинадцять мільйонів п'ятсот тисяч гривень 00 копійок).

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 1,5 млн грн (один мільйон п'ятсот тисяч гривень 00 копійок).

2-й рік 5,0 млн грн (п'ять мільйонів гривень 00 копійок).

3-й рік 5,0 млн грн (п'ять мільйонів гривень 00 копійок).

### 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 9 виконавців, з них:

доктори наук 3;

кандидати наук 3;

інші працівники 3.

**Лобода Петро Іванович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор, д.т.н..

**Юркова Олександра Іванівна**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор, д.т.н..

**Богомол Юрій Іванович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент, д.т.н..



**Троснікова Ірина Юрїївна**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент, к.т.н..

**Солодкий Євген Васильович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», старший науковий співробітник, к.т.н..

**Соловійова Тетяна Олександрівна**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», старший науковий співробітник, к.т.н..

**Тесля Сергій Юрїйович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», інженер.

**Наконечний Сергій Олегович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», інженер.

**Втерковський Михайло Ярославович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», інженер.

### **3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Залучення організації(ї) субвиконавця(ів) до проєкту не передбачається.

### **4. ОПИС ПРОЄКТУ**

#### **4.1. Мета Проєкту(до 200 знаків)**

Створення фізико-хімічних основ керування процесами синтезу нового класу високоміцних композиційних матеріалів із порошків армованих тугоплавких сполук (ТС) та високоентропійних сплавів.

#### **4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)**

- дослідити сплавоутворення у системах типу ТС – ВЕС;
- встановити термодинамічну, кінетичну та термомеханічну сумісність ТС та ВЕСів;
- дослідити вплив фізико-хімічних параметрів консолідації на кінетику процесів ущільнення,
- встановити механізми зміцнення нових композиційних матеріалів
- дослідити кінетику процесу високотемпературного окиснення композитів;
- вивчити триботехнічні властивості композитів.

#### **4.3. Детальний зміст Проєкту:**

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Найвищі значення твердості та робочі температури (аж до 1600 °С) мають керамічні матеріали, але вони поступаються перед іншими по міцності та ударній в'язкості. Найбільш ВЕС з правильно підібраним складом можуть конкурувати та більш ефективно застосовуватись замість традиційних металевих зв'язок в металокермічному композиті ТС-ВЕС.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Для отримання металокерамічних композитів було обрано суміші порошків ВЕСів та ТС ((WC-W2C)+ВЕС; (B4C–TiB2)+ВЕС). ВЕСи отримані механічним легуванням. Армовані порошки ТС – відцентровим розпилення евтектичних сумішей. З метою отримання щільних композитів суміші порошків спікались іскро-плазмовим методом. Скануюча електронна мікроскопія, рентгенофазовий, дюрOMETричний аналізи використовувались для досліджень сплавоутворення в системі ВЕС-ТС.

### **5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:**

#### **5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)**

З метою встановлення термодинамічної, кінетичної та термомеханічної сумісності фазових складових нових композиційних матеріалів, досліджено процес сплавоутворення під час



компактування суміші порошків систем  $(\text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2)\text{-AlCoCrNiFeTi}$  та  $(\text{WC}-\text{W}_2\text{C})\text{-AlCoCrNiFeV}$  в умовах іскроплазмового спікання. Високоентропійні сплави  $(\text{AlCoCrNiFeTi}(\text{V}))$  були використовувались в якості матричної фази – зв'язки металокерамічного композиту, а евтектичні порошки: карбід бору армований волокнами дибориду титану та напівкарбіду вольфраму армованого волокнами моно карбіду вольфраму, в якості керамічних зерен наповнювача з високою твердістю.

Встановлено вплив температури на зміну фазового складу та структури металокерамічних композитів спечених в умовах іскроплазмового спікання. Показано, що при температурах спікання 1100-1500 °C в системі  $(\text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2)\text{-AlCoCrNiFeTi}$  відбувається взаємодія між компонентами з утворенням нових фаз боридів та карбідів металів, що входять до складу ВЕС. Джерелом вуглецю та бору є карбід бору з матриці армованих керамічних частинок  $\text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2$ . Менша дифузійна активність дибориду титану у порівнянні з карбідом бору призводить до формування унікальної армованої границі розділу між матрицею та армованими частинками, що має забезпечувати високу міцність композиту. Більш того перекристалізація як  $\text{V}_4\text{C}$  так і  $\text{TiB}_2$  через ВЕС веде до формування дрібних менше мікронного розміру частинок ограненої форми. При цьому, в діапазоні температури спікання не відбувається ріст зерен за рахунок рекристалізації та коалесценції, оскільки формуються за рідкофазним механізмом високотемпературні бориди, які термодинамічно і кінетично сумісні з матеріалом матриці із карбіду бору та волокнами із диборидом титану частинок порошку первинного армованого керамічного композиційного матеріалу  $\text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2$ . Дослідження мікротвердості за Віккерсом отриманих композитів показали, що загальна твердість становить близько 24 ГПа, в той час як твердість армованих керамічних частинок  $\text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2$  понад 36 ГПа, а матричної фази близько 14 ГПа, що є більш як на 30% вищим у порівнянні з традиційними твердими сплавами.

Показано, що при температурах спікання 1000-1500 °C в системі  $(\text{WC}-\text{W}_2\text{C})\text{-AlCoCrNiFeV}$  відбувається часткова взаємодія між матрицею та тугоплавким наповнювачем за рахунок формування core-gin структури зерен  $\text{WC}-\text{W}_2\text{C}$  яка являє собою складний карбід  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ . Дослідження структури границі розділу дозволили зафіксувати різницю в дифузійній взаємодії між ВЕС- $\text{WC}$  та ВЕС- $\text{W}_2\text{C}$ . Показано, що розчинення  $\text{W}_2\text{C}$  відбувається інтенсивніше. Більш того, за рахунок такого ефекту відбувається армування границі розділу матриці та наповнювача, що як і у випадку з системою  $(\text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2)\text{-ВЕС}$  повинно призводити до значного, в 2 і більше разів зміцнення границю зерен між матричною фазою та наповнювачем. Слід зазначити, що міцність твердих сплавів традиційних визначається в першу чергу міцністю зв'язку керамічних зерен карбіду вольфраму з матрицею. Як правило тріщина під час руйнування розповсюджується по границі розподілу металевої матричної фази із кобальту або нікелю з керамічною із карбіду вольфраму. Тому можна стверджувати, що у випадку металокерамічних композитів обох синтезованих систем міцність повинна бути значно вищою за міцність традиційних твердих сплавів, оскільки границі між керамічними зернами армованих тугоплавких сполук і ВЕСом пронизана волокнами із дибориду титану та монокарбіду вольфраму меншими за мікронні розміри. Волокна в композитах монокристалічні, а від так і механічні властивості їх будуть визначатися природою міжатомного зв'язку, міцністю зв'язку між атомами і наближатися до теоретичної міцності та твердості оскільки вони бездефектні. За температури спікання понад 1200 °C відбувається формування пластинчастої структури із монокарбіду вольфраму та матриці із ВЕСу. Твердість за Віккерсом щільного композиту сягає 20 ГПа. Враховуючи, що вміст матричної фази складає більше 30 % по об'єму, то це значно на третину вищі значення ніж на традиційних твердих сплавах типу карбід вольфраму – кобальт з приблизно таким же вмістом матричної фази.

## **5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

Вперше отримано результати щодо закономірностей формування фазового складу, структури та міцного зв'язку між матрицею та наповнювачем нового класу композитів з армованих тугоплавких сполук та ВЕС, які за показниками твердості вже на більш як 30 % перевищують існуючі тверді сплави.

Вперше встановлено фізико-хімічні основи отримання нового класу композитів з армованих тугоплавких  $(\text{WC}-\text{W}_2\text{C}, \text{V}_4\text{C}-\text{TiB}_2)$  сполук, аналогів яких не має у світі.

Створено принципово новий спосіб in-situ синтезу армованих керамічних матеріалів, що полягає в формування матричної фази шляхом селективної керованої хімічної взаємодії



компонентів ВЕСу з карбідом бору армованого волокнами із бориду титану та напівкарбідом вольфраму армованого волокнами із монокарбиду вольфраму, що дозволяє формувати керамічну матрицю із боридів металів та армовану границю розділу між матрицею та фазою наповнювача із високо твердої у випадку монокарбиду вольфраму та надтвердої у випадку карбиду бору фази наповнювача. На відміну від всіх відомих методів формування армованих керамічних матеріалів створений відрізняється низькою температурою 1000-1200 °С синтезу самоармованого композиту та формування наддрібнозернистих термодинамічно та кінетично сумісних з матрицею субмікронних волокон та огранених частинок із надтвердих тугоплавких сполук.

### **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

Отримані результати свідчать про задовільну кінетичну та термодинамічну сумісність фазових складових нових композиційних матеріалів на основі армованих керамічних матеріалів. Більш того отримання значення твердості композитів, які вже на даному етапі більш як на 30% вищі у порівнянні з традиційними твердими сплавами свідчать про початок створення нового класу композиційних матеріалів здатних працювати в екстремальних умовах, що реалізуються в процесі роботи металообробного інструменту, в газо- та нафтодобувному, гірничодобувному та металургійному устаткуванні, вузлах та приладах спеціальної військової та цивільної техніки, що дозволить зменшити імпортозалежність держави, вирішити проблему ресурсо- та енергозбереження, а саме, збереження матеріальних, енергетичних та людських ресурсів на виробництво матеріалів, деталей та інструменту, що втрачаються щорічно через зношування та корозію, також вирішити екологічні проблеми – позбавлення шкідливих викидів і продуктів корозії та зносу, що забруднюють атмосферу та навколишнє середовище. По суті доведено, що нові надтверді армовані металокерамічні матеріали можуть замінити тверді сплави в багатьох областях застосування і це стане новим етапом революційних змін в технології обробки матеріалів, які протягом останніх 80 років були пов'язані з створенням, виробництвом і застосуванням традиційних твердих сплавів типу ВК, що дозволило на порядок збільшити як стійкість інструменту, так і продуктивність процесів обробки.

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

Отримані результати виконаного першого етапу будуть покладені в основу досліджень кінетики процесів формування структури та фізико-механічних властивостей нових композиційних матеріалів та створення фізико-хімічних основ нового класу надміцних композитів з армованих тугоплавких сполук та високоентропійних сплавів, які будуть запропоновані та передані для реалізації в промисловому виробництві на підприємствах «КБ Південне» ім. М.К. Янгеля», КНВП «ФОРТ» та заводу «Порошкової металургії» м. Бровари на основі укладання господарчих договорів. Більш того новизна, перспективність та інноваційна складова отриманих результатів буде покладена в основу проєктів міжнародних програм НАТО «Наука заради миру» та 9-ої Рамкової програми науково-технічного співробітництва Європейського Союзу «Горизонт Європа» за напрямом 2 «Глобальні виклики та європейська індустріальна конкурентоздатність» (Global Challenges and European Industrial Competitiveness), який включає в себе низку кластерів, що спрямовані на визначені Європейською Комісією галузі діяльності, а саме 4.1 Промислові технології, 4.2 Передові матеріали та 4.6 Нові сприяючі технології.

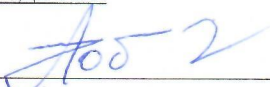
Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування.

**Науковий керівник Проєкту**

Професор, д.т.н.

(посада)

Лобода П.І.

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

