

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Смірної Яни Олександрівни

на тему «Створення основ технологій виготовлення шаруватих метало-керамічних композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними характеристиками»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **13 Механічна інженерія**

за спеціальністю **136 Металургія**

### **Актуальність теми дисертації.**

Розвиток аерокосмічної техніки, автомобілебудування та інших високотехнологічних галузей потребує нових матеріалів, у яких поєднується широкий спектр властивостей. Титан/алюмінієві композиційні матеріали, завдяки низькій густині, високим міцності, зносостійкості, корозійній стійкості та теплофізичним властивостям є одними з найбільш перспективних серед металевих композитів. Додаткове введення керамічної фази, у свою чергу, має позитивний вплив на механічну поведінку композиційних матеріалів.

Більшість методів виготовлення титан/алюмінієвих композиційних матеріалів є твердофазними, технічно складними та обмеженими за геометричними параметрами, а отримані таким чином композити мають ряд недоліків. Рідкофазні способи, у свою чергу, є технологічно простішими, забезпечують складну конфігурацію виробів та міцне міжфазне з'єднання.

У дисертаційній роботі розроблено технологічні параметри виготовлення титан/алюмінієвих композиційних матеріалів систем VT1-0/Al, VT6/Al та Ti-TiB/Al рідкофазним формуванням, що зважаючи на вищесказане робить дисертаційного дослідження актуальною.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Уперше розроблено технологічні параметри рідкофазного формування шаруватих композиційних матеріалів систем VT1-0/Al, VT6/Al та Ti-TiB/Al, які включають процеси очищення поверхні пластин на основі титану розплавом флюсу евтектичного сплаву KF-AlF<sub>3</sub> та просочування їх розплавом



алюмінію. Встановлено, що швидкість процесу очищення поверхні пластин більша за швидкість просочення за однакових технологічних умов.

2. Встановлено закономірності процесу взаємодії на границях розподілу систем VT1-0/Al, VT6/Al та Ti-TiB/Al під час просочення. Уперше показано, що незалежно від ширини зазору між пластинами на основі титану перехідний шар складається з твердих розчинів титану у алюмінії та алюмінію в титані. При цьому товщина перехідного шару суттєво залежить від хімічного складу матеріалу. Вона збільшується у результаті просочення та ізотермічного витримання протягом 300 с від 2,8 мкм для системи VT1-0/Al, до 3,8-4,2 мкм для системи VT6/Al та 6,3-6,5 мкм для системи Ti-TiB/Al.

3. Показано, що під час дії деформації аж до руйнування не відбувається розшарування матеріалів по міжфазній границі. Деформація отриманих композитів залежить від цієї характеристики вихідних титанових сплавів. Її максимальні значення складають 36 % для системи VT1-0/Al, 15,3 % для VT6/Al та 14,96 % для Ti-TiB/Al. Встановлено відповідність експериментальних і розрахованих значень механічних характеристик шаруватого композиту залежно від структурно-геометричних властивостей, що дозволяє прогнозувати механічні властивості шаруватих композиційних матеріалів.

4. Експериментально встановлено, що шаруваті матеріали, які одержано за допомогою рідкофазного з'єднання зберігають цілісність границі розподілу під час прокатування у атмосферному середовищі без попереднього нагрівання до ступеня обтискання 0,45 (система VT1-0/Al) та у вакуумі з попереднім нагріванням до ступеня обтискання 0,36 (система Ti-TiB/Al). У результаті прокатування відбувається фрагментація перехідного шару і заповнення алюмінієм зон розриву перехідного шару без порушення суцільності границь розподілу. Міцність композиційних матеріалів зростає по мірі збільшення ступеня деформації і перевищує розраховані значення внаслідок деформаційного зміцнення.

5. Уперше показано, що за питомими механічними характеристиками шаруваті Ti/Al композити, які отримано за рідкофазною технологією, перевищують відомі титанові та алюмінієві сплави.

Положення та висновки дисертації базуються на експериментальних даних, представлених у роботі, та є належним чином обґрунтованими. Під час проведення досліджень було застосовано сучасні методи, інструменти й обладнання, що у поєднанні з високою кореляцією отриманих даних обумовлює достовірність наукових результатів.



Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі ливарного виробництва КПП ім. Ігоря Сікорського із використанням технологічних можливостей лабораторій Центру колективного користування науковим обладнанням «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» під керівництвом доц., к.т.н., доц. Гурія Ірини Миранівни. Робота мала зв'язок з науково-дослідною роботою «Створення проривних технологій виробництва деталей складної форми з композиційних матеріалів для екстремальних умов експлуатації» (номер державної реєстрації 0118U000222).

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, а саме розроблення технологічних параметрів виготовлення композиційних матеріалів  $Ti(Ti-TiB)/Al$  шляхом просочення пакетів із титану та його сплавів розплавом алюмінію, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

#### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Смірної Я. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 136 Металургія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Металургія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Функціональні матеріали».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Смірної Яни Олександрівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

#### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, з використанням загальновживаної термінології наукового напрямку.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 140 сторінок.

Вступ демонструє актуальність теми дисертаційного дослідження, його зв'язок з науковими програмами, планами, темами, мету, завдання, предмет та



об'єкт роботи, використані методи досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробацію матеріалів дисертації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі представлено аналітичний огляд джерел за тематикою дисертації: які матеріали використовують для виготовлення шаруватих титан/алюмінієвих композиційних матеріалів, найбільш поширені твердофазні технології їх отримання, існуючі на сьогоднішній день рідкофазні методи виготовлення композитів, структура та механічні властивості шаруватих титан/алюмінієвих матеріалів. Наведено висновки до розділу.

Другий розділ присвячений матеріалам, технологіям та методам дослідження, що використовували у роботі: наведено вихідні матеріали та методики рідкофазного формування і прокатування титан/алюмінієвих композитів, методики дослідження мікроструктури, хімічного та фазового складу, фізико-механічних властивостей.

У третьому розділі реалізовано та представлено результати дослідження впливу технологічних параметрів на структуру шаруватих титан/алюмінієвих композиційних матеріалів систем VT1-0/Al, VT6/Al та Ti-TiB/Al, проаналізовано механічні властивості виготовлених композитів, наведено порівняльний аналіз властивостей отриманих титан/алюмінієвих матеріалів з відомими. Сформульовано висновки до розділу.

У четвертому розділі описано результати дослідження впливу прокатування за різних технологічних умов рідкофазно сформованих шаруватих матеріалів систем VT1-0/Al та Ti-TiB/Al на їх структуру та механічні властивості. Наведено висновки до розділу.

У розділі Висновки сформульовано основні висновки за дисертаційною роботою.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, додаткові результати розрахунків, акти впровадження в освітній процес результатів дисертаційної роботи та застосування результатів дисертаційної роботи здобувача.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у



періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus; 1 патент України на корисну модель.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача мають високий науковий рівень, а особистий внесок автора до них не викликає сумнівів. У всіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У дисертації досліджено структуру так званої «зони взаємодії» між титаном та алюмінієм, проте не розглянуто структуру алюмінієвого шару, який формувався у ході просочення.

2. Для рентгенографічних досліджень використано  $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання. Чи вистачило чутливості цього методу для ідентифікації наявних фаз? Як ви можете пояснити розташування ліній та піків, притаманних кристалічній ґратці алюмінію?

3. У роботі широко використовується термін «металургійний зв'язок», проте ніде не наведено його пояснення. Яким чином визначається дане поняття?

4. У роботі проведено порівняння властивостей виготовлених титан/алюмінієвих композитів з відомими матеріалами. Доречним би було навести можливі галузі застосування для представлених у роботі композитів.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Смірної Яни Олександрівни на тему «Створення основ технологій виготовлення шаруватих метало-керамічних композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними характеристиками» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю,

практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Смірнова Яна Олександрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 136 Металургія.

**Рецензент:**

завідувач кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії,  
Навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона,  
Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,  
доктор технічних наук, професор



Юрій БОГОМОЛ

**Підпис Богомола Ю. І. засвідчую**

В.о. директора  
Навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона,  
Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»



Ігор ВЛАДИМИРСЬКИЙ



«13» лютого 2023 року