

ВІДГУК

офіційного опонента 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.

Розроблення ефективних технологій виготовлення сучасних композиційних матеріалів є невід'ємною складовою розвитку технічних галузей. Поширеними і одночасно перспективними залишаються ливарні, рідкофазні методи виготовлення металевих композитів, що мають ряд вагомих переваг, а саме: можливість отримання виробів складних конфігурацій з мінімальним механічним обробленням, використання широкої номенклатури компонентів для створення композиційних матеріалів, висока продуктивність, можливість механізації, автоматизації та реалізації безперервних технологічних процесів. Окрім того, рідкофазними способами можливо отримати такі композити, які іншими методами виготовити неможливо або нераціонально.

На сьогоднішній день композиційні матеріали на основі алюмінію є одними з найбільш широко поширених у аерокосмічній та автомобільній техніці, що зумовлено їх невеликою вагою, високою питомою міцністю та корозійною стійкістю. Поєднання властивостей алюмінію та титану у шаруватих композиційних матеріалах надає їм високої зносостійкості, жорсткості, міцності, теплопровідності поряд з малою густиною. Додаткове армування титан/алюмінієвих композитів волокнами TiB₂, які не лише мають високі показники механічних властивостей, але є термодинамічно стабільними як у титані, так і в алюмінії, розширює спектр застосування цих перспективних функціональних і конструкційних матеріалів у машинобудуванні, будівництві, транспорті, енергетиці, що зумовлює актуальність даної роботи.

Актуальність дисертації також підтверджується тим, що вона виконана за державним замовленням, бюджетною тематикою Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» – «Створення проривних технологій виробництва деталей складної форми з композиційних матеріалів для екстремальних умов експлуатації» (номер державної реєстрації 0118U000222) і відповідає загальнодержавним пріоритетам, визначеним Законом України «Про

пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» за напрямом: нові речовини і матеріали.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Дисертаційна робота Смірної Я. О. містить наступні положення наукової новизни:

- розроблено методику виготовлення титан/алюмінієвих шаруватих композиційних матеріалів рідкофазним способом, яка полягає в очищенні поверхні пластин зі сплавів марок VT1-0, VT6 та Ti-TiB розплавом флюсу $KF-AlF_3$ евтектичного складу і просоченні їх рідким алюмінієм;
- досліджено вплив технологічних параметрів процесу, таких як температура, час витримки в розплаві алюмінію, на зону взаємодії компонентів у композитах систем VT1-0/Al, VT6/Al та Ti-TiB/Al. Встановлено, що хімічний склад вихідного матеріалу суттєво впливає на товщину утвореного перехідного шару, який збільшується у результаті просочення та ізотермічного витримування 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. Показано, що перехідний шар складається з твердих розчинів титану у алюмінії та алюмінію в титані незалежно від ширини зазору між пластинами на основі титану;
- встановлено, що отримані композитні матеріали не розшаровуються по міжфазним границям у ході деформації до руйнування. Максимальні значення деформації складають 36 % для системи VT1-0/Al, 15,3 % для VT6/Al та 14,96 % для Ti-TiB/Al. Відповідність експериментальних значень механічних властивостей виготовлених композитів розрахованим за правилом сумішей дозволяє прогнозувати механічні властивості шаруватих композиційних матеріалів;
- показано, що одержані за рідкофазною технологією шаруваті матеріали зберігають цілісність границі розподілу в процесі оброблення тиском (прокатування на повітрі без попереднього нагрівання до ступеня обтискання 0,45 для системи VT1-0/Al та у вакуумі з попереднім нагріванням до ступеня обтискання 0,36 для системи Ti-TiB/Al). Встановлено, що границі розподілу у зоні взаємодії залишаються суцільними, зони розриву перехідного шару заповнюються алюмінієм, а перехідний шар фрагментується. Збільшення ступеня деформації призводить до збільшення міцності композиційних матеріалів, яка перевищує значення, розраховані за правилом сумішей;
- показано, що виготовлені за рідкофазною технологією шаруваті титан/алюмінієві композиційні матеріали за питомими механічними характеристиками перевищують відомі титанові та алюмінієві сплави.

Поставлені в дисертаційній роботі наукові завдання виконано, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності. Наукові положення, висновки та рекомендації, що викладено в роботі, обґрунтовані на підставі глибокого та критичного аналізу сучасних іноземних та вітчизняних науково-технічних джерел інформації. Результати досліджень чітко сформульовано та якісно узагальнено, є переконливими завдяки повноті отриманих експериментальних і розрахункових даних, які не вступають у протиріччя із існуючими теоретичними уявленнями та світовим досвідом, узгоджуються з відомими концепціями, базуються на фундаментальних засадах теорії металознавства. Достовірність результатів підтверджується використанням надійного сучасного обладнання і великої кількості взаємодоповнюючих методик досліджень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Смірної Яни Олександрівни 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 і вироби».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Смірної Яни Олександрівни є результатом її самостійних досліджень 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, є завершеною комплексною науковою працею, що має чітку та логічну структуру. Матеріал дисертації викладено доступно, з використанням загальновживаної термінології та дотриманням принципів академічної доброчесності.

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

У вступі визначено актуальність теми дисертації, показано її зв'язок з науковими темами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», в якому виконувалася дисертаційна робота, сформульовано мету та задачі дослідження, об'єкт та

предмет дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, описано методи досліджень, відзначено особистий внесок здобувачки, наведено дані про апробацію матеріалів дисертації, її структуру та обсяг.

У першому розділі проведено аналітичний огляд літературних джерел, які відображають сучасний стан методів виготовлення титан/алюмінієвих шаруватих композитів, проаналізовано структуру та механічні властивості досліджуваних матеріалів, у тому числі додатково армованих боридом титану. Здобувачкою аргументовано доказано переваги використання рідкофазних технологій отримання шаруватих композиційних матеріалів у порівнянні з іншими поширеними способами, зокрема твердофазними.

У другому розділі розглянуто матеріали та методики рідкофазного виготовлення титан/алюмінієвих шаруватих композиційних матеріалів. Описано методи досліджень мікроструктури, хімічного та фазового складу, фізико-механічних властивостей отриманих композитів.

Третій розділ присвячено технологічним основам рідкофазного виготовлення шаруватих титан/алюмінієвих композиційних матеріалів та дослідженню отриманих композитів. Вивчено вплив технологічних параметрів: температури, часу витримки пакетів титанових пластин у алюмінієвому розплаві на зону взаємодії композиційних матеріалів систем VT1-0/Al, VT6/Al та Ti-TiB/Al. Досліджено механічні властивості отриманих шаруватих композитів.

У четвертому розділі досліджено вплив прокатування на структуру та властивості рідкофазно сформованих матеріалів систем VT1-0/Al і Ti-TiB/Al.

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 висвітлено у 8 наукових публікаціях здобувачки, 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 було апробовано на 3 наукових фахових конференціях. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю відображено у наукових публікаціях здобувачки.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Визначення об'єкту та предмету досліджень у дисертації не відповідає вимогам, згідно з якими об'єкт досліджень – це процес або явище, що

породжує проблемну ситуацію й обране для дослідження, *предмет* – міститься в межах об'єкта, змістовно визначає тему (назву) дисертаційної роботи (закономірності процесів, розроблення технологічних основ тощо). У дисертації (стор. 17) предмет досліджень сформульовано як об'єкт дослідження. Об'єкт дослідження представлено у вигляді матеріалів та технологій їх одержання.

2. У положеннях наукової новизни (стор. 18) не вказано, чим одержані результати, які авторка дисертації вважає новими, відрізняються від раніше відомих, що є обов'язковою формальною ознакою. Крім того, у пунктах 3, 4 не оцінено ступінь новизни отриманих результатів (одержали подальший розвиток, розвинуто уявлення тощо). У п. 4 описано результати прокатування композитних матеріалів «у атмосферному середовищі», проте не вказано, у якому (повітря, аргон інші). Таке словосполучення зустрічається по тексту дисертації в багатьох випадках.

3. Під час одержання композиційного матеріалу титанові пакети витримували в алюмінієвому розплаві за температур 700, 750 та 800 °С (стор. 53). На підставі чого вибрано такі температури? Чим пояснюється, що збільшення зазору між титановими пластинками від 0,5 мм до 1,5 мм призводить до збільшення швидкості підйому алюмінієвого розплаву?

4. Процес міжфазної взаємодії розплаву алюмінію з твердими титановими пластинами досліджено за витримки від 15 с до 900 с, але на підставі чого обрано такі часові параметри і що відбувається за їх межами в дисертації не обговорюється. За який мінімальний час починається взаємодія алюмінію з титаном? У чому полягає металургійний зв'язок між титаном і алюмінієм, яким у дисертації пояснюється утворення рівномірного перехідного шару.

5. Однією з основних задач роботи є дослідження впливу складу титанових пластин, ширини зазору між пластинами, температури алюмінієвого розплаву та часу витримкування в ньому пакету пластин на структуру перехідної зони композитного матеріалу. Проте за наданими рисунками, наприклад 3.1-3.5, визначити мікроструктуру і зміни, що відбуваються у перехідному шарі, практично неможливо. Встановлено, що зміна титанових пластин марки ВТ1-0 на пластини зі сплавів ВТ6 та Ti-TiВ призводить до збільшення ширини перехідного шару, але причина цього явища не пояснюється.

6. Найбільш дискусійним і суперечливим питанням дисертаційної роботи є висновок, що незалежно від ширини зазору між пластинами на основі титану, перехідний шар складається з твердих розчинів титану в алюмінії та алюмінію в титані. Разом з тим, механізм утворення цієї зони пояснюється з позицій фазових перетворень за участі інтерметалідних фаз.

7. Не дивлячись на те, що на приведених в дисертації дифрактограмах інтерференційні лінії алюмінідів титану відсутні (рис. 3.6, 3.11, 3.18, 3.23), вид наведених дифрактограм свідчить про суттєві структурні зміни у перехідній

зоні, що залежать від складу титанових пластин, температури (700 °C, 750 °C, 800 °C) та часу витримки пластин у розплаві (60 с, 300 с, 600 с). Зокрема, змінюється інтенсивність інтерференційних ліній титану та алюмінію в залежності від витримки пакетів у рідкому алюмінію (рис. 3.11). При збільшенні витримки до 300 с і 600 с на дифрактограмі відсутня інтенсивна лінія титану при куті 2θ близькому до 40°, збільшується інтенсивність ліній титану та алюмінію при $2\theta \sim 38^\circ$ -41° та інтенсивність лінії алюмінію при куті $2\theta \approx 45^\circ$. Але відзначені та інші зміни на дифрактограмах під час обговорення структури перехідного шару композитних матеріалів не розглядаються. Це зауваження також стосується композитів на основі сплавів ВТ1-0/Al і Ti-TiB/Al, дифрактограми перехідного шару яких до і після прокатування суттєво відрізняються (рис. 3.6, 4.4 і 3.23, 4.9). При цьому змінюється не тільки вид дифрактограм, але і хімічний склад перехідної зони. Наприклад, склад перехідної зони в композиті, в якому використано пакети зі сплаву ВТ1: без прокатування – кількість алюмінію в межах 59,7-80,15 ат. %, титану 19,16-39,78 ат. %; після прокатування – кількість алюмінію 29,81-59,38 ат. %, титану 22,81-73,39 ат. %. Тобто після прокатування у прошарку між титановими пластинами збільшується кількість титану і зменшується відсоток алюмінію. Проте ці експериментальні факти в роботі не обговорюються.

8. У тексті дисертації є описки і деякі невдалі терміни: «низька густина» – замість низький рівень густини, «елемент впровадження» (мається на увазі процес утворення твердого розчину) – замість атоми втілення, «внутрішня напруга» – замість внутрішнє напруження, «подовження» зразка – замість видовження.

Разом з тим, вважаю, що висловлені зауваження не зменшують загальну цінність роботи, наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки 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 створення нових конструкційних і функціональних матеріалів, технологій їх виробництва, 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.

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

Офіційний опонент:

завідувачка відділу

Фізико-технологічного інституту
металів та сплавів НАН України,
доктор технічних наук, с.н.с.,
Заслужений діяч науки і техніки
України



Адель ПРИГУНОВА

Підпис Пригунової А.Г. засвідчую

Вчений секретар ФТІМС НАН України,
к.т.н.



Володимир ЛАХНЕНКО



«26» січня 2023 року