

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0823U100136

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 03-03-2023

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Смірнова Яна Олександрівна

2. Smirnova Yana O.

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 136

Назва наукової спеціальності: Механічна інженерія. Металургія

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 01-03-2023

Спеціальність за освітою: Металургія

Місце роботи здобувача: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.01

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:**

**Коди тематичних рубрик:** 55.15.15.17

**Тема дисертації:**

1. Створення основ технологій виготовлення шаруватих метало-керамічних композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними характеристиками

## 2. Creation of foundations of manufacturing technologies of layered metal-ceramic composite materials with increased physical and mechanical characteristics

### Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми, а саме розробленню та дослідженню технологічних параметрів виготовлення шаруватих композиційних матеріалів Ti(Ti-TiB)/Al з підвищеними фізико-механічними характеристиками рідкофазним методом. Представлено технологічні основи виготовлення шаруватих Ti/Al композиційних матеріалів рідкофазним формуванням з використанням флюсу евтектичного сплаву KF- $AlF_3$ , що забезпечує рівномірне просочення алюмінієвого розплаву між пластинами на основі титану. Встановлено, що на границі розподілу між твердим титаном марки VT1-0 та рідким алюмінієм утворюється перехідний шар, товщина якого залишається стабільною за температур розплаву від 700 до 800 °C, ширини зазору між титановими пластинами від 0,5 до 1,5 мм та часу витримування 900 с. За фазовим складом перехідний шар відповідає твердим розчинам титану в алюмінії та алюмінію в титані. Визначено, що мінімального часу витримування достатньо для взаємодії титану та алюмінію. Утворення рівномірного перехідного шару забезпечує витримування у розплаві після просочення протягом 300 с. Збільшення ширини зазору між титановими пластинами від 0,5 до 1,5 мм призводить до збільшення швидкості підйому розплаву між ними від  $1,6 \pm 0,12$  до  $2,9 \pm 0,20$  мм/с. Товщина утвореного перехідного шару залишається стабільною для всіх досліджених значень ширини зазору між пластинами на основі титану у системах VT1-0/Al, VT6/Al і Ti-TiB/Al та у середньому складає 2,8, 3,8-4,2 і 6,3-6,5 мкм відповідно. Потовщення шару за умови зміни вихідних пластин обумовлене їх хімічним складом та структурою. Для досліджених систем представлено механізми міжфазної взаємодії між твердим титаном або його сплавом та рідким алюмінієм. За представленими у дисертаційній роботі технологічними параметрами отримано не лише тришарові, а й п'яти- та семишарові матеріали систем VT1-0/Al та VT6/Al. Збільшення кількості шарів у матеріалі не призводить до зміни мікроструктури зони взаємодії. У результаті проведених досліджень на трьохточковий згин встановлено, що тришарові композиційні матеріали системи VT1-0/Al не руйнуються. Під час досягнення кута вигину зразків у діапазоні 130-120° на границі розподілу відбувається утворення тріщин, максимальним розміром до 20 мкм, які не призводять до розшаровування та відокремлення титанових пластин від алюмінієвого шару. Під час випробувань на розтяг три- та п'ятишарові матеріали системи VT1-0/Al демонструють пластичну поведінку, а максимальні значення міцності досягаються за умови мінімальної ширини зазору 0,5 мм і сягають  $305 \pm 16$  МПа за деформації  $32,1 \pm 3,0$  %. Тришарові композити системи VT6/Al демонструють аналогічну поведінку під час випробувань, а максимальна міцність на розтяг складає  $602 \pm 15$  МПа за деформації  $15,3 \pm 2,4$  %. На відміну від попередніх, матеріали системи Ti-TiB/Al демонструють крихку поведінку під час руйнування. Міцність на розтяг тришарового матеріалу за умови ширини зазору між пластинами 1,5 мм у середньому становить  $479 \pm 18$  МПа, а деформація –  $14,96 \pm 1,7$  %. Експериментально встановлено, що величина міцності на розтяг шаруватих композиційних матеріалів задовільно узгоджується зі значеннями, розрахованими за правилом сумішей, враховуючи об'ємну частку, кількість та фізико-механічні властивості титанових і алюмінієвих шарів, що дозволяє прогнозувати механічні властивості шаруватих Ti /Al композитів. Встановлено, що у результаті прокатування у атмосфері повітря без попереднього нагрівання рідкофазно сформовані тришарові матеріали системи VT1-0/Al зберігають цілісність границі розподілу. Ступінь обтискання оброблених тиском матеріалів складав від 0,27 до 0,45. Перехідний шар, утворений у результаті взаємодії вихідних металів, фрагментується та переходить у алюмінієву частину. Міцність прокатаних композитів проти вихідних збільшується до 401-491 МПа залежно від ширини зазору та ступеня обтискання. Анізотропія міцності на розтяг у досліджених матеріалах практично не проявляється і не залежить від напрямку розтягу досліджуваних зразків відносно напрямку прокатування. У результаті прокатування тришарових композиційних матеріалів системи Ti-TiB/Al у вакуумі з попереднім нагріванням було досягнуто максимального ступеня обтискання 0,36. Збільшення температури прокатування композиту призводить до потовщення утвореного на границі розподілу перехідного шару. Міцність матеріалу зі ступенем обтискання 0,2 у середньому складає  $725 \pm 20$  МПа, а

пластична деформація –  $0,98 \pm 0,12$  %, що вказує на збільшення міцності та зменшення пластичності у порівнянні з вихідним непрокатаним матеріалом. За допомогою графіків Ешбі показано, що за питомими механічними характеристиками шаруваті Ti/Al композити, отримані рідкофазним формуванням перевищують відомі титанові та алюмінієві сплави.

2. The dissertation work is devoted to the solution of an actual problem, namely the development and research of technological parameters for the manufacturing of layered Ti(Ti-TiB)/Al composite materials with increased physical and mechanical characteristics by the liquid-phase method. The technological bases of layered Ti/Al composite materials liquid-phase manufacturing are presented. Using the KF-AlF<sub>3</sub> eutectic alloy flux ensures uniform impregnation of the aluminum melt between the titanium based plates. It was established that transition layer at the interface between solid titanium grade VT1-0 and liquid aluminum is formed. Thickness of transition layer remains stable at melt temperatures from 700 to 800 °C, the width of the gap between the titanium plates from 0,5 to 1,5 mm, and holding time 900 s. The phase composition of the transition layer corresponds to solid solutions of titanium in aluminum and aluminum in titanium. It was determined that the minimum holding time is sufficient for the interaction of titanium and aluminum. 300 seconds holding in the melt after infiltration ensures formation of a uniform transition layer. An increase of the width of the gap between the titanium plates from 0,5 to 1,5 mm leads to rising of melt lifting speed between them from  $1,6 \pm 0,12$  to  $2,9 \pm 0,20$  mm/s. The thickness of the formed transition layer remains stable for all investigated values of the width of the gap between the titanium-based plates in VT1-0/Al, VT6/Al, and Ti-TiB/Al systems, and on average, is 2,8, 3,8-4,2 and 6,3-6,5 μm, respectively. The layer thickening as a result of changing the original plates is due to their chemical composition and structure. Mechanisms of interphase interaction between solid titanium or its alloy and liquid aluminum are presented for the studied systems. According to the presented in the dissertation technological parameters, not only three-layer but also five- and seven-layer materials of the VT1-0/Al and VT6/Al systems were manufactured. An increasing in the number of layers in the material does not lead to a change in the microstructure of the interaction zone. As a result of the three-point bending test, it was found that the three-layer composite materials of the VT1-0/Al system don't destroy. When the bending angle of the samples in the range of 130-120 ° is reached, cracks with a maximum size of up to 20 μm are formed at the interface. It doesn't lead to delamination and separation of the titanium plates from the aluminum layer. During tensile tests, the three- and five-layer materials of the VT1-0/Al system demonstrate plastic behavior. Maximum strength values were achieved with a minimum width of the gap of 0,5 mm and reached  $305 \pm 16$  MPa at a total strain of  $32,1 \pm 3,0$  %. Three-layer composites of the VT6/Al system demonstrate similar behavior during tests. The maximum tensile strength is  $602 \pm 15$  MPa with a total strain of  $15,3 \pm 2,4$ %. Unlike the previous ones, materials of the Ti-TiB/Al system demonstrate brittle behavior during destruction. The tensile strength of the three-layer material with the width of the gap between plates of 1,5 mm, is  $479 \pm 18$  MPa on average, and the deformation is  $14,96 \pm 1,7$  %. It was experimentally established that the value of the tensile strength of layered composite materials satisfactorily agrees with the values calculated by the rule of mixtures, taking into account the volume fraction, number, physical and mechanical properties of titanium and aluminum layers. It makes it possible to predict the mechanical properties of layered Ti/Al composites. As a result of rolling in an air atmosphere without preheating, the liquid-phase formed three-layer materials of the VT1-0/Al system retain the integrity of the interface. Materials with a reduction ratio of 0,27-0,45 were obtained by plastic deformation. The transition layer, formed as a result of the interaction of the original metals, fragments and passes into the aluminum layer. The strength of the rolled composites increases to 401-491 MPa compared to the original ones. Anisotropy of tensile strength in the studied materials is practically not occur and doesn't depend on the direction of tension of the studied samples relative to the direction of rolling. As a result of three-layer composite materials of the Ti-TiB/Al system vacuum rolling with preheating, a maximum reduction ratio of 0.36 was achieved. Increasing of the composite rolling temperature leads to a thickening of the transition layer, which formed at the interface. The strength of the material with a reduction ratio of 0,2 is on average  $725 \pm 20$  MPa, and the plastic deformation is  $0,98 \pm 0,12$ %. It indicates an increase in strength and a decrease in plasticity compared to the original material. Ashby graphs showed that in terms of specific mechanical characteristics, the layered Ti/Al composites manufactured by liquid-phase method exceed the known titanium and aluminum alloys.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:**

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:**

**Підсумки дослідження:**

**Публікації:**

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:**

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Гурія Ірина Миранівна

2. Huriia Iryna M.

**Кваліфікація:** к. т. н., 05.16.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Наумик Валерій Владиленич

2. Naumyk Valeriy V.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.16.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Пригунова Адель Георгіївна

2. Prygunova Adel G.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.16.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Биба Євген Георгійович

2. Byba Yevgen G.

**Кваліфікація:** к. т. н., 05.16.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Богомол Юрій Іванович

2. Bohomol Yuriy I.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.16.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Мініцький Анатолій Вячеславович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Мініцький Анатолій Вячеславович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

**Реєстратор**

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Т.А.