

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Інженерно-фізичний факультет  
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

«На правах рукопису»

УДК 621.762.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В. І. Мазур  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**  
**за освітньо-професійною програмою**  
Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів  
зі спеціальності 132 Матеріалознавство

на тему: Порівняльний аналіз фазового та структурного станів сплаву ВТ6 методами порошкової металургії

Виконав магістрант II курсу, групи ФК-81мп

Ткачук Вадим Юрійович

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник

доцент, к. т. н., Карасевська О. П.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант

(Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях)

доцент, к. т. н., Арламов О. Ю.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант

(Економічно-організаційної частини)

доцент, к. е. н., Петренко К. В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Нормоконтроль

доцент, к. т. н., Бірюкович Л. О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Магістрант \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

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

Факультет	Інженерно-фізичний
Кафедра	Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
Освітньо-професійна програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Вибірковий блок	Матеріалознавство композитів і покриттів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В. о. завідувача кафедри

Мазур В. І.

(прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

### ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію магістранту

**Ткачуку Вадиму Юрійовичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації: Порівняльний аналіз фазового та структурного станів сплаву ВТ6 методами порошкової металургії.
2. Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, Карасевська О. П. затверджена наказом по університету від 12 листопада 2019 року № 3890-с.
3. Строк подання дисертації: 19.12.2019.
4. Вихідні дані до дисертації: Аналіз сучасного стану виробництва матеріалів на основі сплаву ВТ6 повинно дати можливість сформулювати шляхи отримання виробів зі сплаву ВТ6 з вищими техніко-економічними показниками. Технологічні процеси повинні забезпечувати певний рівень найважливіших властивостей виробів на основі сплаву ВТ6, що залежать від складу вихідного порошку, а також його структури, що формується у процесі спікання. Організаційно-економічні засади повинні забезпечувати оцінку науково-

технічного ефекту не нижчий за 7,5.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації повинні відповідати нормативним вимогам.

6. Зміст пояснювальної записки:

а) провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання сплаву ВТ6 та розробити технологічну схему для виробництва матеріалів зі сплаву;

б) отримати зразки електронно-променевим та пічним методами та дослідити їх структуру і фазовий склад;

в) визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;

г) розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

д) провести розрахунок кількості електроенергії, необхідної для проведення експериментальної частини;

е) обґрунтувати необхідну кількість робітників, розмір фонду їх заробітної плати, визначити показники продуктивності праці;

ж) довести ефективність дисертації та розробити стартап-проект.

6. Перелік графічного матеріалу:

а) технологічна схема отримання виробів зі сплаву ВТ6;

б) макро- та мікроструктури спечених зразків;

в) рентгенограми.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Петренко К. В., к. т. н., доцент		
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Арламов О. Ю., к. т. н., доцент		

8. Дата видачі завдання: 16.05.2019.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Збір та аналізування інформації щодо методів виготовлення титанових сплавів. Написання літературного огляду.		
2	Підготовка порошків.		
3	Формування зразків з порошків титанового сплаву ВТ6 зміцненого $TiB_2$ .		
4	Спікання консолідованих порошків електронно-променевим методом на установці СВ112.		
5	Спікання консолідованих порошків пічним методом на установці СШВЕ-1,25/25-И2.		
6	Виготовлення шліфів та проведення досліджень структури спечених зразків.		
7	Проведення рентгенофазових досліджень.		
8	Оформлення результатів та написання пояснювальної записки.		

Магістрант

\_\_\_\_\_

В. Ю. Ткачук

\_\_\_\_\_ (ініціали та прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

О. П. Карасевська

\_\_\_\_\_ (ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація вміщує: 78 стор., 20 рис., 22 табл., 28 джерел

ВТ6, ДИБОРИД ТИТАНУ, ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ СПІКАННЯ, МЕТАЛОМАТРИЧНІ КОМПОЗИТИ, РЕНТГЕНОФАЗОВИЙ АНАЛІЗ, ТИТАНОВІ СПЛАВИ.

У даній роботі викладено огляд сучасного стану теорії і технології отримання виробів з титанових сплавів.

Метою роботи є дослідження титанових сплавів спечених пічним, електронно-променевим методом, та порівняльний аналіз фазового, структурного станів сплаву ВТ6 методами порошкової металургії.

Методи дослідження: металографічний аналіз (оптична мікроскопія), електронна мікроскопія, рентгенофазовий аналіз.

Проведено дослідження по формуванню структури композиту на основі сплаву титану ВТ6 із легуванням  $TiB_2$  двома методами порошкової металургії : пічним спікання пресованих порошків необхідної концентрації ( $TiH_2$ , Al, V,  $TiB_2$ ) та їх спікання електронно-променевим методом. В роботі було використано додавання 7,5 мас. %  $TiB_2$  та 10 мас. %  $TiB_2$ . Було визначено різницю фазових і структурних параметрів при різних методах спікання. Зміна часу витримки при електронно-променевому спіканні практично не змінює розміри фазових складових та значення області когерентного розсіювання, розміри яких визначаються початковими розмірами використаних порошків. При пічному спіканні розміри фазових складових визначаються часом витримки при температурі спікання і зростають з її збільшенням, а розмір області когерентного розсіювання залежить від повноти  $TiB_2 \rightarrow TiV$  переходу. В  $\beta$ -фазовій складовій сплаву титану утворюються залишкові напруження в 10 разів вищі від  $\alpha$ -фази, що пов'язано із більшим модулем пружності  $\alpha$ -фази порівняно із  $\beta$ -фазою і проростанням  $TiV$  в  $\beta$ -фазу, оскільки розчинність бору в цій фазі вища порівняно із  $\alpha$ -фазою.

## ABSTRACT

The Master's Thesis changes: 78 p., 20 Fig., 22 Tab., 28 Sources

Ti6Al4V, TITANIUM DIBORIDE, ELECTRONIC BEAM SINTERING, METALLOMATRIC COMPOSITES, X-RAY PHASE ANALYSIS, TITANIUM ALLOYS.

In this field, you will find an overview of current modern theories and technologies made from titanium alloys.

The aim of the research is to study titanium alloys sintered by furnace, electron beam method, and comparative analysis of phase, structural states of the Ti6Al4V alloy by powder metallurgy methods.

Research methodology: metallographic analysis (optical microscopy), electron microscopy, X-ray phase analysis.

The study on the formation of the structure of the composite based on titanium alloy Ti6Al4V doped with TiB<sub>2</sub> by two methods of powder metallurgy: furnace sintering of the pressed powders of the required concentration (TiH<sub>2</sub>, Al, V, TiB<sub>2</sub>) and their electron beam sintering. The result was the addition of 7,5 mass % and 10 mass % TiB<sub>2</sub>. The difference of phase and structural parameters for different sintering methods was determined. Changing the holding time of electron beam sintering practically doesn't change the size of the phase components and the values of the coherent scattering region, the dimensions of which are determined by the initial size of the powders used. In the case of furnace sintering, the size of the phase components is determined by the holding time at the sintering temperature and increases with its increase, and the size of the coherent scattering region depends on the completeness of the TiB<sub>2</sub> → TiB junction. The β-phase component of the titanium alloy produces residual stresses 10 times higher than the α-phase, which is associated with a larger modulus of elasticity of the α-phase compared to the β-phase and the TiB germination into the β-phase, since the solubility of boron in this phase is higher compared to the α-phase.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД .....	11
1.1 Титан та його сплави .....	11
1.2 Електронно-променева плавка.....	13
1.3 Металоматричні композити .....	14
1.4 Характеристика властивостей сплаву VT6.....	15
1.5 Особливості термообробки титанового сплаву VT6 .....	17
1.6 Наводнення титану.....	20
1.7 TiV <sub>2</sub> як легуюча домішка в титанових сплавах.....	21
1.8 Висновки та постановка завдання дослідження .....	23
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 Вихідні матеріали.....	24
2.2 Технологія виготовлення виробу VT6-TiV <sub>2</sub> .....	26
2.3 Методика дослідження структури та фазового складу композитів.....	28
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ .....	30
3.1 Морфологія вихідного порошку, фазовий вміст компонентів та густина спечених зразків різними методами.....	30
3.2 Металографія спечених зразків різними методами.....	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	43
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	43
4.2 Безпека технологічного обладнання .....	44
4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	46
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	48
6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	51
6.1 Науково-технічна актуальність магістерської роботи .....	51
6.2 Мета і завдання дипломної роботи .....	51
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	53
7.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження .....	53
7.1.1 Витрати на оплату праці.....	53
7.1.2 Єдиний соціальний внесок.....	55
7.1.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі.....	55
7.1.4 Витрати на спеціальне обладнання та прилади .....	56

7.1.5 Витрати на службові відрядження .....	56
7.1.6 Інші прямі невраховані витрати .....	56
7.1.7 Накладні витрати .....	57
7.1.8 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації.....	57
7.2 Економічна ефективність магістерської дисертації .....	58
7.3 Висновки .....	59
<b>8 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>61</b>
8.1 Актуальність .....	61
8.2 Мета і завдання стартап-проекту.....	61
8.3 Опис ідеї проекту .....	62
8.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	63
8.5 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	67
8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	69
8.7 Формування системи збуту.....	69
8.8 Висновки до розділу .....	70
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>74</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>76</b>



## ВСТУП

Відносно новою і перспективною галуззю науки і техніки, за допомогою якої можна вирішувати завдання що до створення нових матеріалів з унікальними властивостями зі збереженням матеріальних та енергетичних ресурсів є порошкова металургія. Це галузі науки і техніки, які об'єднують методи отримання порошків металів і сплавів, неорганічних сполук і виготовлення виробів із них та їх сумішей, виключаючи плавлення матеріалу основи. При цьому порошкові матеріали та вироби з них нині застосовують майже у всіх відомих галузях науки і техніки - енергетиці, машинобудуванні, ядерній і аерокосмічній техніці та багато інших галузях [1].

Виготовлення базується на трьох основних операціях. Це отримання порошків вихідних матеріалів, формування (пресування) з них заготовок заданої форми і міцності, достатньої для подальшого маніпулювання з ними, і, нарешті, спікання (термічна обробка найрізноманітнішими методами: sps (spark plasma sintering), furnace sintering, лазерний тощо), призначене для кінцевого формування заданих властивостей виробу. Велика кількість матеріалів та виробів різного призначення, які виготовляють методами порошкової металургії, потребує такої ж кількості виробів з них, різноманітних за розмірами та формою. Останнє вимагає застосування для виготовлення цих виробів різноманітних методів пресування [1].

Композиційним матеріалом (КМ) називають такий, що відповідає наступним вимогам:

- а) КМ має складатися бодай з двох різнорідних матеріалів з чіткою границею між компонентами;
- б) компоненти КМ утворюють його своїм об'ємним розташуванням за певною програмою;
- в) КМ повинен мати властивості, яких не має жодна з компонент (або має у значно послабленому вигляді);

г) підбір компонентів та частка кожного в КМ мають бути такими, щоб компоненти взаємно підсилювали одна одну при набутті багатокомпонентним матеріалом нової властивості;

д) розміри елементів структури в матеріалі набагато менші за розміри деталі з КМ [1].

На сучасному етапі розвитку машинобудування все більше зростають вимоги до металевих матеріалів. Промисловості необхідні метали й сплави з підвищеною міцністю при різних температурах експлуатації, досить пластичні і в'язкі, стійкі проти дії агресивних середовищ, що мають ряд спеціальних властивостей. Завдяки особливим фізико-механічним властивостям титан знаходиться у ряді нових конструкційних матеріалів, які значною мірою задовольняють ці вимоги. Безупинне розширення виробництва і застосування титану в різних галузях техніки зумовлене насамперед його підвищеною питомою міцністю (відношення межі міцності до густини). Відмінна корозійна стійкість титану в атмосферних умовах, морській воді і ряді високо агресивних середовищ обумовлює ефективне його використання для виготовлення конструкцій, що працюють у найважчих умовах експлуатації [2].

## 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Титан та його сплави

Титан – це один із найбільш розповсюджених елементів. За вмістом у земній корі він посідає четверте місце після алюмінію, заліза і магнію.

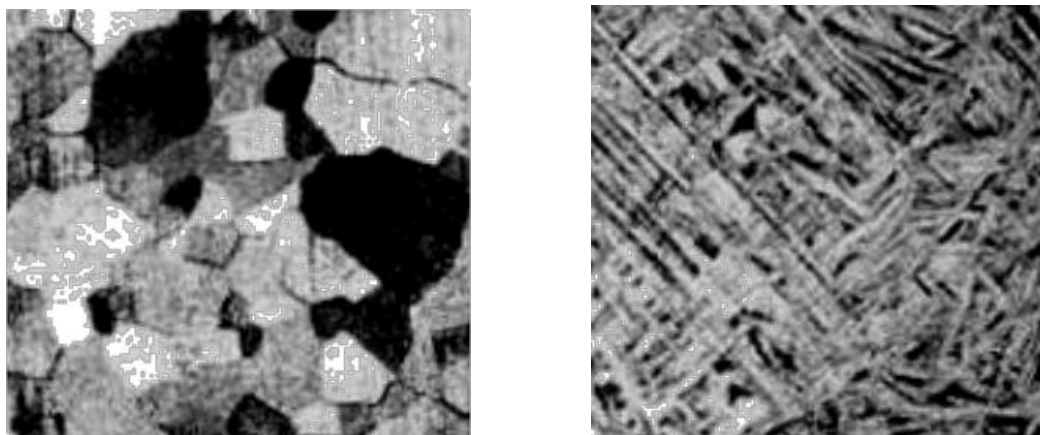
Зараз вітчизняна промисловість випускає широку номенклатуру напівфабрикатів з титану і сплавів на його основі. Це листи, плити, прутки, труби, дріт, профілі, панелі, штамповки. Збільшуються габарити напівфабрикатів, освоюються їхні нові види і форми, підвищується точність [3].

Створено і знаходять промислове застосування різні за призначенням титанові сплави: конструкційні, жароміцні, для роботи при низьких температурах, корозійностійкі тощо. Досить перспективними є високолеговані термічно зміцнювані титанові сплави, що дозволяють найбільш повно реалізувати всі переваги сплавів такого типу. Обсяг промислового використання титанових сплавів багато в чому залежить від досконалості технологічних процесів виготовлення конструкцій і, в першу чергу, від зварювання [3].

Титан – поліморфний метал і може знаходитися у вигляді двох алотропічних модифікацій: низькотемпературної  $\alpha$ , стійкої до 882,5 °С, яка має гексагональну щільно паковану решітку. Від 882,5 °С до точки плавлення ( $T_{пл} = 1668$  °С) стабільна високотемпературна  $\beta$ -модифікація титану з ОЦК решіткою. Поліморфне перетворення дає можливість зміцнювати сплави на основі титану термічною обробкою.

$\beta$ -фазу титану при нормальній температурі не вдається зберегти навіть при швидкому охолодженні металу, нагрітого вище від температури  $\beta \rightarrow \alpha$  перетворення, наприклад, гартуванням у воду. При охолодженні з будь-якою швидкістю наявне перетворення  $\beta$ -фази на  $\alpha$ -фазу, що має бездифузійний, мартенситний характер. Однак, залежно від швидкості охолодження, виникають різні кінцеві мікроструктури чистого титану від звичайної поліедричної рівноважної структури  $\alpha$ -фази, що характерна для чистих металів при формуванні структури в умовах повільного охолодження (рис. 1.1, а) до мартенситоподібної у

вигляді зазубрених пластин при швидкому охолодженні. Така голчаста структура перетвореної  $\beta$ -фази зветься  $\alpha'$ -фазою (рис. 1.1, б).



а

б

- а – кований і відпалений титан з рівноважними зернами  $\alpha$ -фази  $\times 250$ ;  
 б – технічно чистий титан, загартований з  $\beta$ -області, голчаста структура  $\alpha'$  мартенситу при швидкому охолодженні не легованої  $\beta$ -фази  $\times 250$

Рисунок 1.1 – Мікроструктура титану [4]

Чистий титан має підвищену пластичність. Це пояснюється тим, що на відміну від класичних гексагональних металів, наприклад магнію, які мають переважно одну площину ковзання, в  $\alpha$ -титані ковзання відбувається переважно по 4 площинах (призматичних та пірамідальних). Механічні властивості титану істотно залежать від чистоти металу, від домішок. Розрізняють домішки проникнення – кисень, азот, вуглець, водень і домішки заміщення, до яких відносять залізо та кремній алюміній тощо. Хоча домішки підвищують міцність, але одночасно різко зменшують пластичність, причому найбільш негативну дію завдають домішки проникнення, особливо газу. За введення всього лише 0,03 % Н, 0,2 % N або 0,7 % О титан повністю втрачає здатність до пластичного деформування та крихко руйнується. На поверхні титану легко утворюється стійка плівка завтовшки від 5 нм до 6 нм, тому титан має високу корозійну стійкість в атмосфері, прісній та морській воді і деяких кислотах, стійкій проти

кавітаційної корозії та корозії під напруженням. Недоліком титану є погана оброблюваність різанням [5].

## 1.2 Електронно-променева плавка

Електронно-променева плавка (далі – ЕПП), як ще одна популярна технологія виготовлення, вважається інноваційною технологією промислового виробництва біомедичних титанових сплавів. Подібно селективній лазерній плавці (далі – СЛП), технологія ЕПП також здійснює пошаровий метод обробки з використанням високоенергетичного електронного пучка в якості джерела тепла, для виготовлення легованих деталей на порошкової основі і використовує комп'ютерну модель (CAD). Електрична обчислювальна машина може швидко розрахувати прототип металевих компонентів складної форми з використанням мінімальних етапів обробки. У порівнянні з технологією СЛП, процес ЕПП проводиться в вакуумному середовищі і може підігрівати використовуваний порошок, тим самим роблячи легкоплавкі деталі з більш високою щільністю. З промислової точки зору ЕПП стає відмінним альтернативним методом виробництва біомедичних титанових сплавів. В процесі ЕПП електронний пучок рухається швидко і розплавляє порошок з утворенням розплавленої ванни в умовах вакууму, після охолодження чого відбувається затвердіння розплаву. Через низьку швидкість охолодження і нагріву накопичення в процесі ЕПП, загальна температура підтримується на високому рівні. Такий метод призводить до відмінної мікроструктури ЕПП сплавів в порівнянні з аналогами виробництва СЛП, а також традиційно вироблені [6].

На сьогоднішній день ЕПП широко використовується у виробництві ВТ6. Відомо, що при обох виробництвах ЕПП ВТ6 і деформований ВТ6 показують мікроструктуру з видовженими  $\beta$ -зернами, окресленими  $\alpha$  межами зерна. Попередні  $\beta$ -зерна в ЕПП – вироблених ВТ6 мають сильну текстуру компоненту (001) вздовж напрямку росту [6].

### 1.3 Металоматричні композити

Підвищення конструкційної міцності, надійності та довговічності деталей механізмів і машин – одна з першочергових умов сучасного машинобудування. Важливою вимогою є поєднання високої міцності з достатнім запасом пластичності. Експлуатаційні характеристики, що гарантують необхідний рівень працездатності, переважно забезпечуються створенням оптимальних структур. Серед методів їх отримання запропоновано формування дислокаційної структури або введенням армуючих фаз. Механізмом реалізації такого підходу стало створення особливого класу нових гетерофазних матеріалів, які складаються, як правило, з високоміцних наповнювачів (армуючих фаз) і пластичних сполучних (матриць) – композиційних матеріалів (далі – КМ).

Перспективність використання КМ обумовлена потребами сучасного виробництва і динамікою науково-технічного прогресу. В даний час в усьому світі активуються дослідження, спрямовані на отримання конструкційних КМ і більш широке їх практичне застосування. Це обумовлено унікальним комплексом властивостей КМ, досягти якого не представлявся можливим в традиційно використовуваних конструкційних матеріалах [7].

Існують різні технології виготовлення металоматричних композитів (далі – ММК), зміцнених наповнювачами. Вибір технології залежить як від призначення, так і від умов експлуатації майбутнього виробу.

При виготовленні ММК необхідно забезпечити ряд певних вимог: сумісність складових, розподіл (рівномірний чи функціональний) армуючого наповнювача, заданий рівень міцності зв'язку по межі розділу матриця – наповнювач, простота і економічність процесу [7].

Для суміщення металевих матриць з фазою зміцнення застосовують різні способи:

а) твердо-рідкофазне або твердофазне компактування сумішей, в тому числі підготовлених механічним легуванням;

б) ливарні технології просочення пористих каркасів з волокон, порошоків або коротких волокон;

в) механічного замішування дискретних наповнювачів в розплави;

г) газотермічне напилювання композиційних сумішей [7].

До найбільш поширених твердофазних методів отримання ММК відносять технології порошкової металургії за варіантами:

а) гаряче пресування або прокатка пакетів з матричної фольги і волокон;

б) гаряче пресування або прокатка пакетів із одношарових композиційних напівфабрикатів, підготовлених плазмовим напиленням;

в) гаряче пресування напівфабрикатів у вигляді волокон або джгутів, покритих металом;

г) виготовлення одношарових або багатшарових метало матричних композитів динамічним пресуванням з високими енергіями і швидкостями;

д) екструзія матриці з розподіленими в ній короткими волокнами або частками.

Тиск підбирають в кожному із окремих випадків, технологія орієнтується на окремі типи виробів. До недоліків слід віднести неконтрольовану якість зв'язку, пористість, необхідність спеціальної підготовки і обробки порошоків [7].

#### 1.4 Характеристика властивостей сплаву ВТ6

Сплав ВТ6 відноситься до класу титанових деформованих сплавів, які використовуються для штампованих та зварних деталей, що довгий час працюють при температурах від 400 °С до 450 °С. Складі титанового сплаву наведений в таблиці 1.1.

Таблиця.1.1 – Склад титанового сплаву

Елемент	Fe	C	Si	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
Мас. %	≤ 0,3	≤ 0,1	≤ 0,15	3,5-5,3	≤ 0,05	86,5-91,2	5,3-6,8	≤ 0,3	≤ 0,2	≤ 0,015

Даний титановий сплав незамінний в авіа та автопромисловості, медичних приладах, великогабаритних збірних конструкціях тощо. Сплав ВТ6 поєднує високі характеристики міцності і пластичності, завдяки легуючим добавкам. Основними легуючими добавками в цьому сплаві є алюміній, який сприятливо впливає на жароміцність, міцність, та ванадій здатний підвищити його пластичність [8].

Сплав ВТ6 має чудову пластичність і легко деформується в розігрітому стані. Для роботи з титановим сплавом ВТ6 підходить будь-який вид зварювання, включаючи дифузійний. При використанні електронно-променевого зварювання, зварювальний шов має міцність ідентичну основному сплаву, що говорить про високу якість металу. Сплав ВТ6 виготовляється у відпаленому, технічно зміцненому стані. Відпал продукції виконується при температурі від 750 °С до 800 °С після чого піддається охолодженню.

Титан має високу міцність, низьку чутливість до водню, низьку схильність до корозії і високу технологічність. Вироби із титанових сплавів мають невелику вагу, тому його питомі властивості широко використовуються в машинобудуванні, літакобудуванні, автомобільній промисловості тощо. Будівництво масштабних металоконструкцій також потребує титанового прокату і причиною тому служить питома вага і висока міцність сплавів на основі титану.

На властивості титанових сплавів впливає вміст кисню, водню, азоту, хлору. Особливо необхідно контролювати їх вміст при зварюванні, оскільки в цьому випадку утворюються додаткові фази, що значно окрихчують сплави. Під час зварювальних робіт метал нагрівається, в зв'язку з чим відбувається поява оксидів, які мають високу міцність і досить низьку пластичність. Взаємодія титану з азотом настає при температурі 500 °С, при цьому з'являються нітриди, здатні поліпшити міцність і твердість металу, одночасно роблячи його менш пластичним. Водень також впливає на титан не кращим чином і значно погіршує його властивості при температурі від 200 °С до 300 °С [9].

Вся продукція з титанового сплаву ВТ6 при дотриманні технологічних умов є якісною і довговічною. Вона знайшла застосування практично у всіх галузях,



починаючи від медицини і закінчуючи космосом. Цей сплав є одним з кращих і практичних матеріалів, які використовуються в холодильних камерах з досить низькою температурою. Будь-яка зведена конструкція зі сплаву ВТ6 вважається найнадійнішою і причиною цьому служить питома вага, міцність, пластичність і довговічність даного сплаву. Сплав ВТ6 – це економічно легований титановий сплав, який дозволив прорив в технології отримання готових виробів і який має широке застосування [9].

### **1.5 Особливості термообробки титанового сплаву ВТ6**

Особливості термообробки титанового сплаву ВТ6 (і близьких до нього за складом сплавів ВТ14, ВТ16, тощо) полягають в спеціальній термічній обробці. Термічна обробка є основним засобом зміни структури титанових сплавів і досягнення комплексу механічних властивостей, необхідних для успішної експлуатації виробів. Забезпечуючи високу міцність при достатній пластичності і в'язкості руйнування, а також стабільність цих властивостей в процесі експлуатації, термічна обробка має не менше значення, ніж легування [10].

Основними видами термічної обробки титанових сплавів є: відпал, гартування і старіння. Ці обробки поєднуються із механічними методами обробки.

Залежно від температурних умов відпал титанових сплавів може супроводжуватися фазовими перетвореннями (відпал з фазовою перекристалізацією в області вище  $\alpha$ -  $\rightarrow$   $\beta$ -перетворення) і може протікати без фазових перетворень (наприклад, відпал для рекристалізації нижче температур  $\alpha \rightarrow \beta$ -перетворення). Відпал рекристалізованого титану і його сплавів призводить до знеміцнення та усунення внутрішніх напружень, що може супроводжуватися зміною механічних властивостей. Легуючі домішки істотно впливають на температуру рекристалізації титану. Як видно з рисунку 1.2 температуру рекристалізації найбільшою мірою підвищує вуглець, кисень, алюміній, берилій, бор, реній і азот. Деякі з елементів (хром, ванадій, залізо, марганець, олово) діють ефективно при введенні їх у відносно великих

кількостях – не менше 3 %. Неоднаковий вплив зазначених елементів пояснюється різним характером їх хімічної взаємодії з титаном, відмінністю в атомних радіусах і структурним станом сплавів [10].

Відпал особливо ефективний для структурно нестабільних, а також деформованих титанових сплавів. Міцність двофазних  $\alpha$ - +  $\beta$ -сплавів титану в відпаленому стані не є простою сумою міцності  $\alpha$ - і  $\beta$ -фаз, а залежить і від морфологічних особливостей структури. Максимальною міцністю в відпаленому стані володіють сплави з найбільш гетерогенною структурою, які містять максимально можливу кількість  $\beta$ -фаз, що пов'язано з подрібненням мікроструктури.



Рисунок 1.2 – Температура рекристалізації титану в залежності від вмісту легуючих домішок заміщення [10]

Відпал дозволяє поліпшити пластичні характеристики і технологічні властивості сплавів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Режими відпалу титанових сплавів [10]

Сплав	Температура, °С	
	Нагріву перед охолодженням	Відпалу
BT6	950-1000	800
BT14	920-960	750
BT16	870-910	780
BT15	750-800	800

Неповний (низький) відпал застосовують з метою усунення тільки внутрішніх напружень, що утворилися в результаті зварювання, механічної обробки, листового штампування тощо.

Крім рекристалізації в сплавах титану можуть відбуватися й інші перетворення, які призводять до зміни кінцевих структур. Найважливіші з них є:

- а) мартенситне перетворення  $\beta$ -твердого розчину;
- б) ізотермічне перетворення  $\beta$ -твердого розчину;
- в) евтектоїдне або перитектоїдне перетворення  $\beta$ -твердого розчину з утворенням інтерметаллідних фаз;
- г) ізотермічне перетворення нестабільного  $\alpha$ -твердого розчину в  $\alpha + \beta$ .

Зміцнююча термічна обробка можлива лише за умови вмісту в сплаві  $\beta$ -стабілізуючих елементів.  $\beta$ -стабілізуючі елементи – це елементи які стабілізують  $\beta$ -фазу [10].

Термічна обробка зміцнення полягає в гартуванні сплаву із  $\beta$ -області і подальшому старінні. Властивості титанового сплаву, одержувані в результаті термічної обробки, залежать від складу і кількості метастабільної  $\beta$ -фази, що зберігається при гартуванні, а також типу, кількості та розподілу продуктів розпаду, що утворюються в процесі старіння. На стабільність  $\beta$ -фази істотний вплив мають домішки впровадження.

За даними [10] азот знижує стабільність  $\beta$ -фази, змінює кінетику розпаду і кінцеві властивості, підвищує температуру рекристалізації. Таким чином діє кисень, однак азот надає більш сильний вплив, ніж кисень. Наприклад, за впливом

на кінетику розпаду  $\beta$ -фази в сплаві ВТ15 вміст 0,1 %  $N_2$  еквівалентно 0,53 %  $O_2$ , а 0,01 %  $N_2$  – 0,2 %  $O_2$ . Азот, як і кисень, пригнічує процес утворення  $\omega$ -фази.

## 1.6 Наводнення титану

Для широкого практичного застосування титанових сплавів, отриманих методом порошкової металургії (далі – ПМ), їх фізико-механічні характеристики повинні бути на рівні характеристик сплавів, отриманих традиційним методом литва та гарячої деформації. Однак при отриманні сплавів порошковим методом збільшення питомої поверхні часток значно підвищує ризик забруднення матеріалу домішками, що може призвести до деградації комплексу механічних властивостей. Висока активність поверхні титану по відношенню до кисню створює небезпеку надмірного вмісту цієї домішки у виробках, отриманих із порошків, і пов'язаного з цим різкого зниження пластичних характеристик. Попри кисень, необхідно строго контролювати вміст в титані таких домішок як вуглець, азот та хлор, оскільки підвищення їх концентрації також призводить до деградації властивостей. Тому, як правило, використовують дорогі високочисті титанові порошки, до того ж ретельно оберігаючи їх від забруднень в ході технологічного процесу отримання сплавів та виробів, щоб зберегти кінцевий вміст домішок (в першу чергу, кисню) на допустимому рівні [11].

Порошковий гідрований (наводнений) титан з успіхом застосовується як стартовий матеріал в сумішах з легувальними порошками для синтезу титанових сплавів різного складу методом твердофазної дифузії [11].

Під час використання порошків гідрованого титану (наприклад — гідриду титану  $TiH_2$ ) замість традиційних порошків титану отримані з них сплави містять помітно меншу кількість кисню, а також прийнятний вміст інших домішок, що забезпечує високі фізико-механічні властивості. Водень, розчинений в атомарному виді в титані, виділяється із його кристалічної ґратки в ході вакуумного нагрівання вже за температури більше 300 °С. Одним із важливих

наслідків цього процесу є відновлення атомарним воднем оксидних плівок на поверхні часток, що призводить до зниження вмісту кисню в титані [11].

Даний процес відноситься саме до поверхневих явищ, оскільки відбувається при виході атомарного водню на поверхню часток і до того моменту, коли водень переходить в молекулярний стан при десорбції з поверхні. Це дає унікальну можливість використовувати гідрований титан з вмістом кисню помітно більшим, ніж в дорогих високочистих титанових порошках, для отримання допустимого вмісту кисню в кінцевих сплавах. Очевидно, що зниження вмісту кисню при дегідруванні залежить від стану поверхні стартового порошку гідрованого титану, загальної кількості кисню і вигляду, в якому кисень присутній в порошку (у вигляді оксидів, розчинений в кристалічній ґратці у вигляді домішки втілення, як адсорбований на поверхні газ) [11].

### **1.7 TiB<sub>2</sub> як легуюча домішка в титанових сплавах**

Титанові матричні композити мають комплекс характеристик, що визначає їх використання у сферах, де перевага віддається низькій питомій вазі та корозійній стійкості. Проте їх застосування значно обмежене, в таких галузях, як автомобілебудування та літакобудування з причини порівняно високої вартості та реакційної активності щодо взаємодії з газами атмосфери, особливо при високій температурі. Як правило, при створенні матричних композитів матрична фаза та фаза зміцнення повинні бути термомеханічно та термодинамічно сумісні [12]. Серед тугоплавких сполук найбільш високу термодинамічну, кінетичну і термомеханічну сумісність з титаном мають TiB, TiB<sub>2</sub> і TiC.

Механічні властивості композиту залежать від механічних характеристик матричної фази з титану. Введення невеликих домішок модифікаторів (бор, скандій, ітрій, лантан, церій, ніобій, молібден, вуглець) змінює основні параметри процесу кристалізації з розплаву, що в свою чергу призводить до зміни структури титану і, як правило, до поліпшення його властивостей. Відомо, що незначні добавки бору (до 0,5 % по масі) до традиційних титанових сплавів змінюють їх

мікроструктуру та підвищують механічні властивості. Введення бору також сприяє очищенню від небажаних домішок завдяки утворенню сполуки  $B_2O_3$ , яка має високу пружність пари [12].

Бор повністю розчиняється в розплаві титану (рис. 1.3), однак практично не розчиняється у твердому стані (до 0,05 % по масі при за температури  $750\text{ }^\circ\text{C}$ ). При легуванні титану бором більше 14 % по масі виділяється тугоплавка  $TiB_2$  фаза, що зміцнює металеву матрицю. Враховуючи те, що розмір та кількість фазових складових композита, що формується в результаті дифузійної взаємодії залежить від концентрації вихідних компонентів, температури та часу, а при температурах, вищих за  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , реалізується реакційна взаємодія, що протікає в режимі самогоріння з виділенням великої кількості тепла.

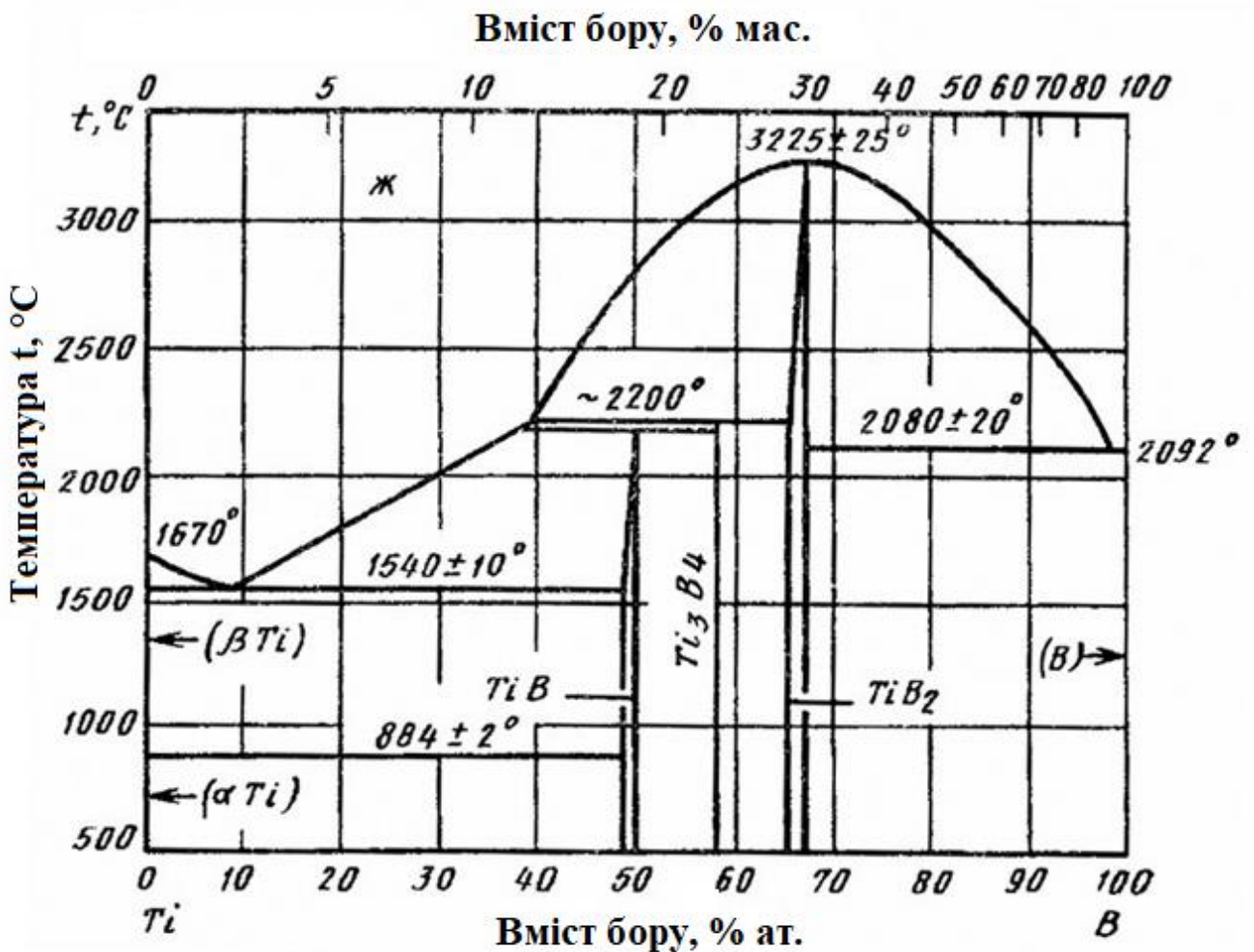


Рисунок 1.3 – Подвійна діаграма стану Ti-B [13]

У рідкому стані компоненти необмежено розчинні один в одному. При кристалізації утворюється складна система з трьома проміжними фазами з боку Ті:  $TiB$ ,  $Ti_3B_4$ ,  $TiB_2$ . Взаємна розчинність компонентів в твердому стані практично відсутня. За температури  $1540\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$  кристалізується евтектика  $\beta\text{-Ti} + TiB$ . З'єднання  $TiB_2$  плавиться конгруентно за температури  $3225\text{ }^\circ\text{C} \pm 25\text{ }^\circ\text{C}$ , має невелику область гомогенності. З'єднання  $Ti_3B_4$  і  $TiB$  утворюються по перитектичним реакціям при температурах  $2200\text{ }^\circ\text{C}$  і  $2180\text{ }^\circ\text{C}$ , відповідно [13].

Для перетворення  $TiB_2$  в  $TiB$  використовують різну швидкість росту по різних напрямках. Наприклад в гратці  $TiB$  – найбільш щільним буде напрямок (100), тому ріст в цьому напрямку є переважним при достатній кількості титану, бо перетворення проходить в титановій матриці [13].

### **1.8 Висновки та постановка завдання дослідження**

Проаналізувавши вище написану літературу можна стверджувати про перспективність роботи. Завдання для досліджень: розробка технологічної схеми виготовлення титанового сплаву  $VT6\text{-}TiB_2$ , безпосереднє виготовлення компактного спеченого виробу та проведення рентгенофазових і металографічних досліджень.

## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Вихідні матеріали

Як основний компонент застосовувалась титанова губка марки ТГ-110 виготовлена на Запорізькому титано-магнієвому комбінаті. Технологічна схема наводнення титанової губки зображена на рисунку 2.1.

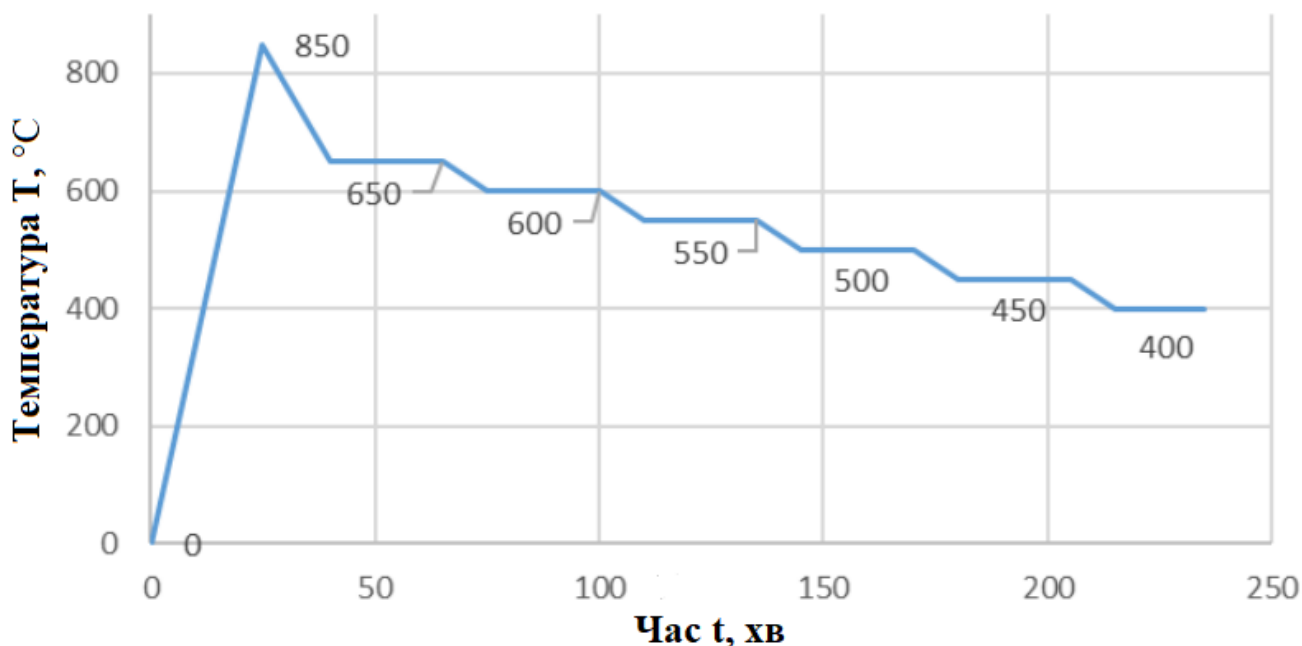


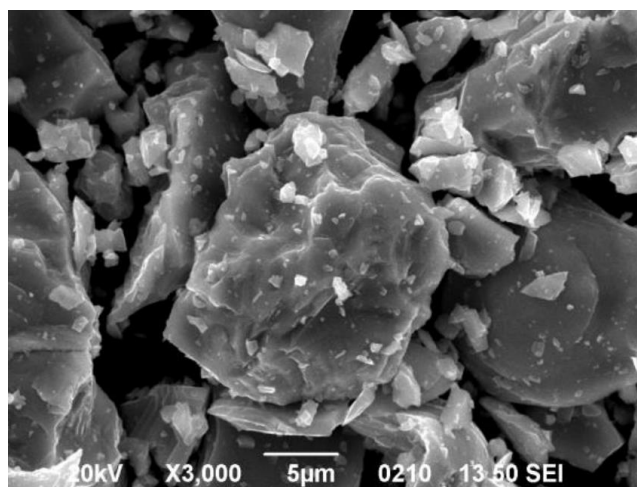
Рисунок 2.1 – Схема наводнення титанової губки до однофазного гідриду титану [14]

Титанова губка марки ТГ-110 нагрівалась у вакуумній печі до 850 °С, в наслідок чого відбувалося розчинення оксидної плівки на поверхні, після чого водень може вільно проникати в глибину титану. Після цього етапу проводилось охолодження до 650 °С і створення в камері тиску від 0,2 атм. до 0,7 атм. водню з витримкою при даній температурі 30 хв. Потім кожні 30 хв робили покрокове зниження на 50 °С до температури 400 °С [14]. Ця технологія дозволяє отримувати однофазний гідрид титану  $TiH_2$  в якому концентрація водню складає 3,5 мас. %, а який показано на рисунку 2.2 а.

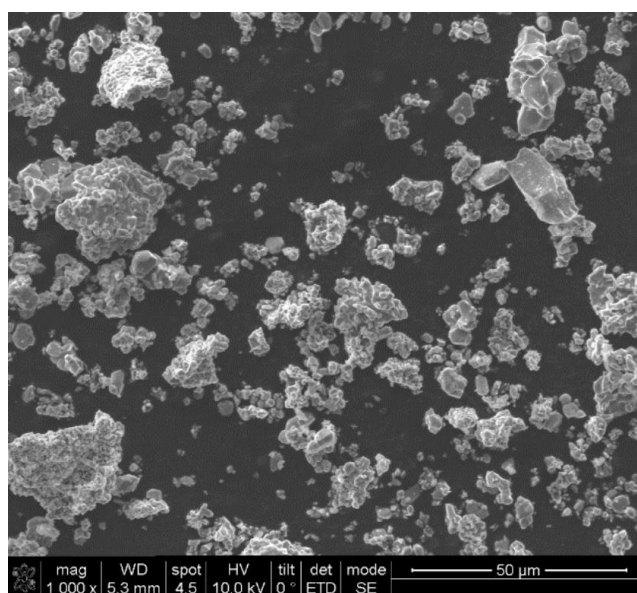
Для виготовлення КМ використовували порошки аморфного бору чистотою 98,9 %, та дибориду титану (ТУ 6-09-03-7-75) [15] синтезованого в Інституті



проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, аморфного бору марки Б-99В, який зображено на рисунку 2.2 б.



а



б

а –  $\text{TiH}_2$ ; б –  $\text{TiB}_2$

Рисунок 2.2 – Морфологія вихідних порошків

Для створення титанових сплавів в якості основи композиційного матеріалу використовувалися лігатури, виплавлені в Інституті металофізики імені Г. В. Курдюмова НАН України методом дугової плавки в середовищі з аргоном із суміші елементарних порошків відповідних елементів.

## 2.2 Технологія виготовлення виробу ВТ6-ТiВ<sub>2</sub>

Загальна технологічна схема отримання армованого титанового сплаву показана на рисунку 2.3, яка включає отримання відповідних порошків, їх дозування в залежності від заданого складу, досягнення однорідності суміші, одностороннє холодне ізостатичне пресування (далі – ХІП) і високотемпературне спікання електронно-променевим (далі – ЕПС) та пічним методами.

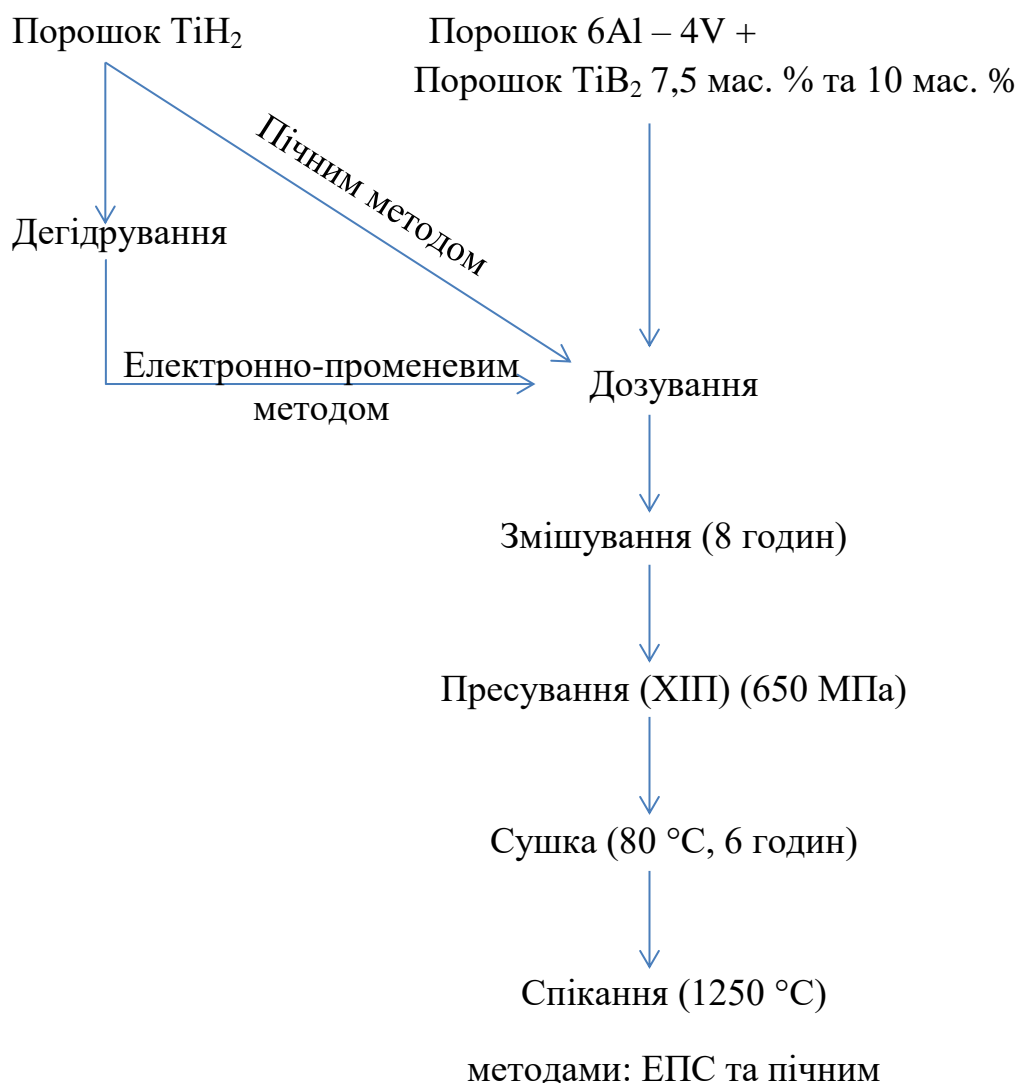


Рисунок 2.3 – Технологічна схема виготовлення титанового сплаву ВТ6-ТiВ<sub>2</sub> методами електронно-променевого та пічного спікання

Процес дегідрування порошку є важливим етапом, який дає змогу проводити спікання пресовок в електронно-променевої установці СВ112, так як наявність водню унеможлиблює використання даного методу. В наслідок нагрівання зразку починає активно випаровуватися водень, що спричиняє зниження вакууму в камері і автоматичне вимкнення електронного променя.

Порошок засипався у нержавіючу ємність та зверху присипався шаром титанової стружки. Дегідрування порошку проводилося у вакуумній печі при  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 1 години 30 хвилин.

Дозування порошоків проводилося на електронних лабораторних вагах. Для рівномірного змішування та розподілу компонентів вихідної суміші використовували змішувач типу «п'яна бочка», який представляє собою циліндричну ємність, вісь обертання якої знаходиться під кутом  $45^{\circ}$  відносно осі обертання валу. Час змішування становить 8 годин.

Об'єм пресовки відштовхувався від габаритів робочої частини прес-форми. Наважки порошоків компактувалися в циліндричні зразки розмірами  $10\text{ мм} \times 4\text{ мм}$  в нерозбірній прес-формі з бандажем шляхом одностороннього пресування при тиску  $650\text{ МПа}$ .

Спікання, пічним методом, спресованих зразків проводили у вакуумній печі СШВЕ-1,25/25-И2 та у залишковому вакуумі  $10^{-3}$  мм. рт. ст. зі швидкістю нагрівання  $7\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ . Температура спікання не перевищувала  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а час спікання варіювався від 3 до 5 годин.

Спікання електронно-променевим методом проводилося на установці СВ112 при температурі, яка не перевищувала  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Спікання проводилося за трьома режимами, які відрізнялися лише часом витримки. Нагрівання проводилося поступово  $0,5\text{ мА}$  кожні 30 с, при досягненні сили струму  $2\text{ мА}$ , температура зразка була рівною  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$  робили витримку 30 с, 60 с та 120 с.

### 2.3 Методика дослідження структури та фазового складу композитів

Щільність композитів після спікання  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) визначалась методом гідростатичного зважування в дистильованій воді на лабораторних вагах «МЕCHANIKI PRECYZYJNEJ» з точністю до 0,0002 г.

Для визначення густини досліджуваний зразок спочатку зважується на повітрі, а потім у рідині (дистильована вода). Експериментальна густина розраховується по формулі:

$$\rho = \frac{m_i \cdot \rho_B}{m_i - m_r},$$

де  $m_i$  - маса зразка на повітрі;

$m_r$  - маса зразка в рідині при температурі  $t$ ;

$\rho_p$  - густина рідини при температурі  $t$ .

Мікроструктуру матеріалу, морфологію залишкових пор, а також їх рівномірність розподілу по об'єму композиту досліджували за допомогою оптичної мікроскопії (Olympus IX-70) та скануючої електронної мікроскопії (TESCAN VEGA 3). Металографічні шліфи виготовлялися механічним шліфуванням.

Скануючий електронний мікроскоп (TESCAN VEGA 3) оснащений стандартним детектором вторинних електронів, що дозволяє отримувати зображення з топографічним контрастом. Також має на борту детектор відбитих електронів призначений для отримання зображення з інформацією про варіації складу на основі контрасту за середнім атомним номером. Також на мікроскопі встановлений детектор та програмне забезпечення компанії Bruker, що дозволяє визначати хімічний склад матеріалу як по об'єму так і локально, а також дозволяє будувати «карти» розподілу хімічних елементів. У якості джерела електронів

виступає вольфрамовий термо-катод. Дослідження зразків проводиться в режимі високого вакууму  $10^{-3}$  Па [16].

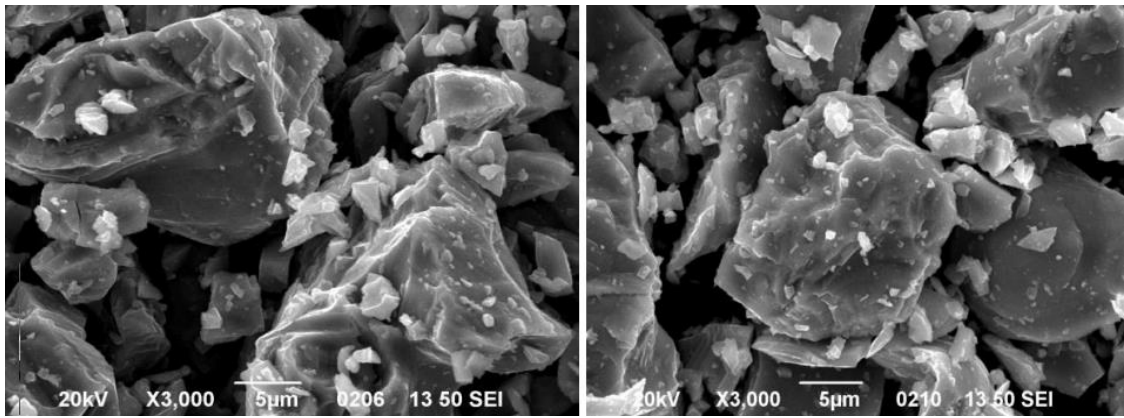
Рентгенівські дослідження визначення фазового складу порошків та композиційних матеріалів проводились на дифрактометрі RIGAKU ULTIMA-3M. В рентгенографічних дослідженнях використовувались  $\text{CuK}\alpha_{1,2}$  – випромінювання ( $\lambda_{\text{CuK}\alpha 1} = 0,154187$  нм), графітовий монохроматор, методика “ $\theta$ - $2\theta$ ” із кроком пересування детектора  $0,02^\circ$  та часом експозиції 2 с. Дифрактограми обробляли з використанням пакету програм RIR та Ріетвельда.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### 3.1 Морфологія вихідного порошку, фазовий вміст компонентів та густина спечених зразків різними методами

Вагому участь в процесах пресування і спікання ММК відіграють вихідні порошки і їх подальша взаємодія між собою. Переважно в металоматричних композитах матрична складова складає 70 %, і тому роль основного компоненту має важливий характер. В розділі 1 було зазначено, що одним з ефективних варіантів технологій отримання спечених матеріалів на основі сплавів титану, що успішно розвивається останнім часом, є використання в якості вихідної сировини порошків гідриду титану замість серійного титанового порошку, що забезпечує відчутну активацію дифузійних процесів під час спікання внаслідок підвищеної щільності кристалічної решітки гідриду, а також можливості додаткової очистки міжфазних границь за рахунок атомарного водню, що виділяється при розпаді гідриду титану, що призводить до досягнення вищого комплексу фізико-механічних характеристик отриманих сплавів. Економічна ефективність використання  $TiH_2$ , крім того, обумовлена також його більш низькою вартістю у порівнянні з стандартними порошками титану [17].

В якості основного компоненту порошкової шихти для формування дослідницьких зразків використовували, як порошок наводненого титану фракції – 100 мкм (рис. 3.1, а), концентрація водню в якому і фазовий склад відповідали однофазному гідриду титану ( $TiH_2$ ) (рис. 3.2), так і порошок титану (рис. 3.1, б) аналогічного гранулометричного складу, який отримували шляхом вакуумного видалення водню з гідриду при його нагріванні вище 500 °С.



а

б

а – дегідрований титан; б – гідрований титан

Рисунок 3.1 – Морфологія вихідних титанових порошоків

Для досягнення відповідної дисперсності наводнену титанову губку подрібнювали в планетарному млині. Гідрид титану є крихким матеріалом, тому за незначного часу розмелювання, від 10 с до 20 с подрібнюється до потрібних розмірів, що спричиняє збільшення питомої поверхні порошку, підвищенню кількості структурних дефектів в кристалічній ґратці. Малий час розмелу дозволяє уникнути намолу барабана та розмельних тіл. Більш довготривалий розмол і відбір дрібнішої фракції не доцільний у зв'язку з тим, що збільшення дисперсності порошоків веде до зростання вмісту домішок.

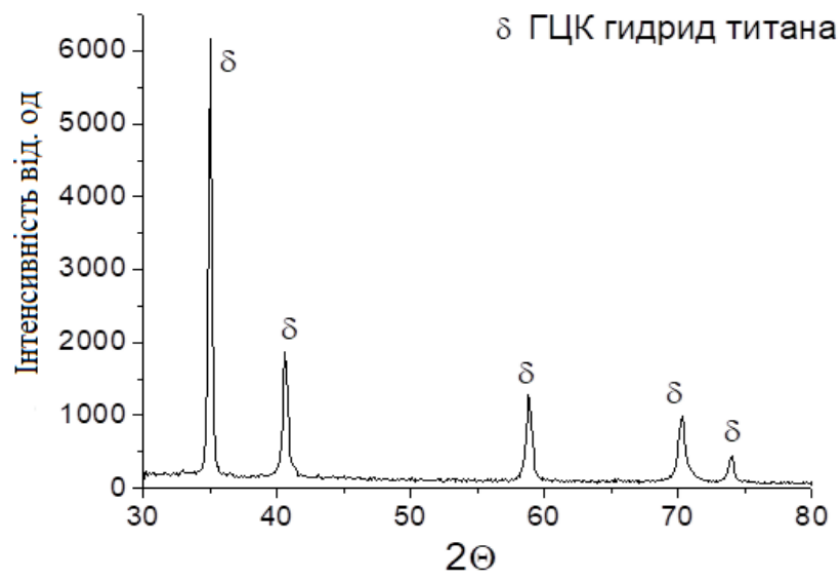


Рисунок 3.2 – Рентгенограма гідриду титану

При виборі високомодульних сполук, як зміцнюючих складових композиційного матеріалу, (табл. 3.1) враховується декілька факторів [18].

Таблиця 3.1 – Основні механічні характеристики матеріалів армуючих сполук

Частинки	Твердість (ГПа)	Модуль Юнга (ГПа)	Коефіцієнт термічного розширення ( $\times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ )	Максимальна розчинність	
				Матриці	Частинок
TiB	28,0	550	8,6	<0,001	1,0
TiC	24,7	460	7,4	1,2	15,0
TiN	24,0	250	9,3	22,0	26,0
SiC	25,0	420	4,3	Нестабільні в Ti сплавах	
Si <sub>2</sub> N <sub>4</sub>	14,7	320	3,2	Нестабільні в Ti сплавах	
TiB <sub>2</sub>	34,0	529	6,4	Нестабільні в Ti сплавах	
B <sub>4</sub> C	27,5	449	4,5	Нестабільні в Ti сплавах	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,5	350	8,1	Нестабільні в Ti сплавах	

Матеріал останніх має характеризуватися модулем пружності першого роду, що значно перевищує модуль Юнга матричного матеріалу (титану), що сприятиме підвищенню твердості і міцності композиту. Важливою вимогою є близькі величини коефіцієнтів термічного розширення зміцнюючих частинок і титанової матриці, щоб уникнути утворення залишкових напружень при зміні температури. Крім того, матеріал зміцнюючих частинок має характеризуватися стабільністю в титановій матриці, не реагувати з нею в ході експлуатації і витримки таких композиційних матеріалів. Технічно чистий титан має модуль Юнга 112 ГПа і коефіцієнт термічного розширення близький до  $8,2 \cdot 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ .

Після проведення спікання ЕПС методом було розраховано щільність композитів VT6-TiB<sub>2</sub> з різним вмістом легуючої добавки та різним часом витримки при спіканні, яка показана в таблиці 3.2.



Таблиця 3.2 – Результати гідростатичного зважування

Композит	Вміст, мас. %	Час, хв	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
VT6-TiB <sub>2</sub>	7,5	1	4,4
		1,5	4,38
		2	4,45
	10	1	4,4
		1,5	4,41
		2	4,44

Рентгенограми спечених композиційних матеріалів за оптимальними режимами показні на рисунках 3.3 – 3.6.

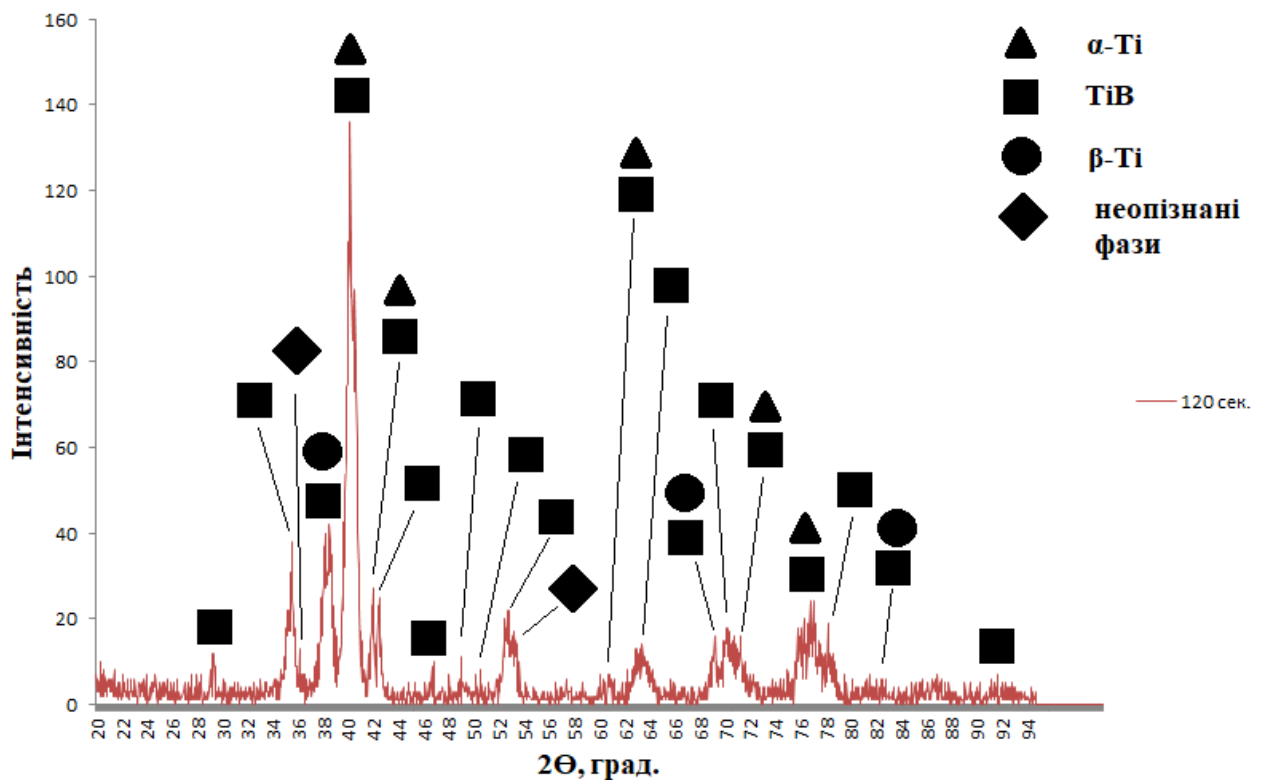


Рисунок 3.3 – Рентгенограма спеченого, методом ЕПС, композиту VT6-TiB<sub>2</sub> 7,5 мас. % з часом 120 с

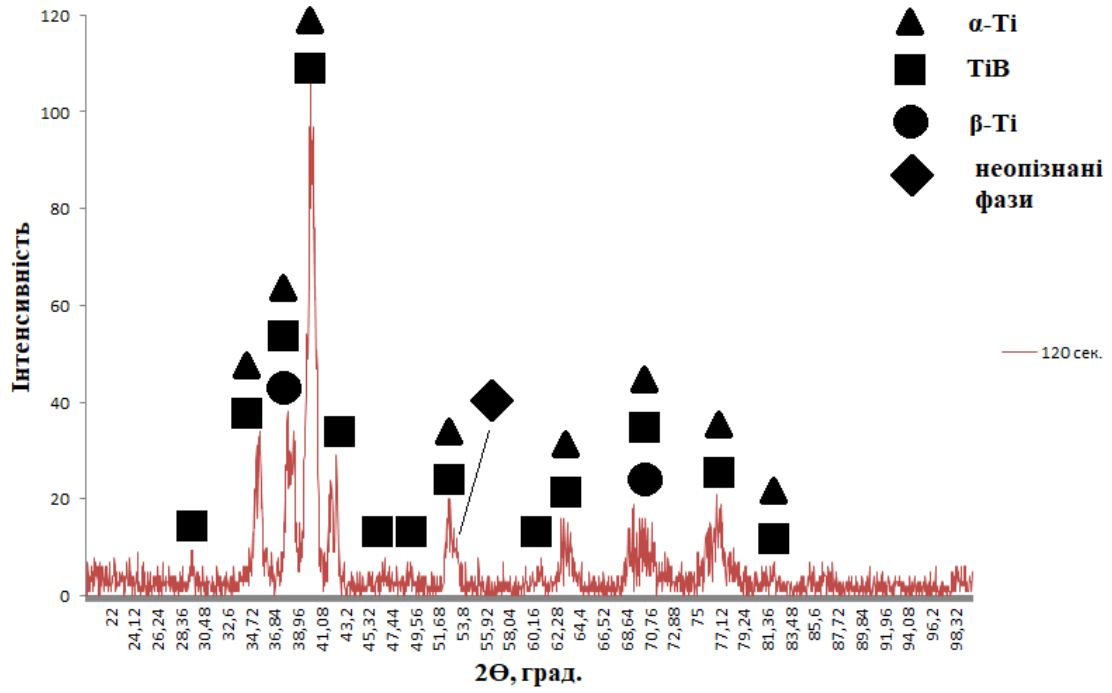


Рисунок 3.4 – Рентгенограма спеченого, методом ЕПС, композиту VT6-TiB<sub>2</sub> 10 мас. % з часом 120 с

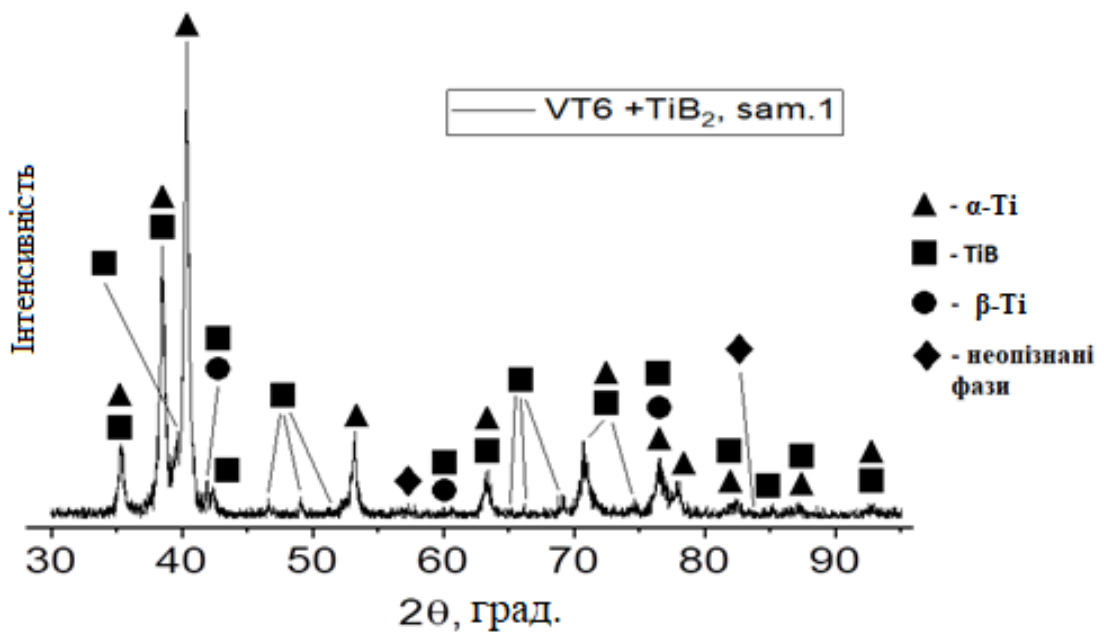


Рисунок 3.5 – Рентгенограма спеченого, пічним методом, композиту VT6-TiB<sub>2</sub> 7,5 мас. % з часом 4 год.

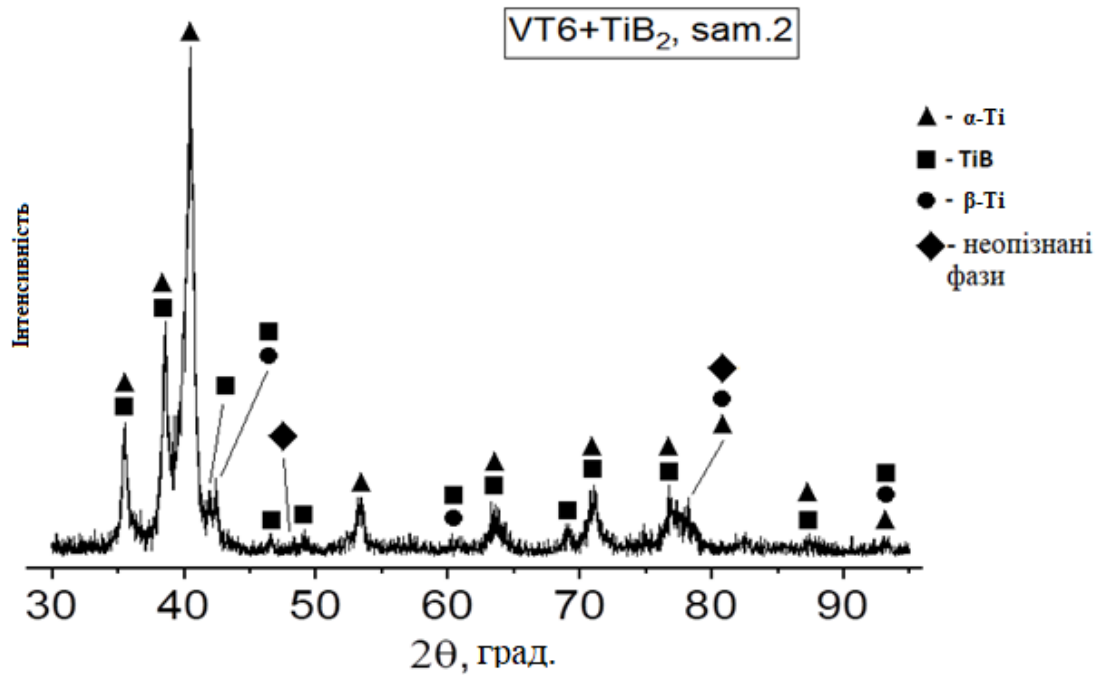


Рисунок 3.6– Рентгенограма спеченого, пічним методом, композиту VT6-TiB<sub>2</sub> 10 мас. % з часом 4 год.

В таблиці 3.3 показаний та співставлений фазовий вміст композитів спечених електронно-променевим та пічним методами.

Таблиця 3.3 – Фазовий вміст компонентів при різних методах спікання

Фаза	Електронно-променевим методом						Пічним методом					
	60 с		90 с		120 с		10800 с (3 год.)		14400 с (4 год.)		18000 с (5 год.)	
	7,5 мас. %	10 мас. %	7,5 мас. %	10 мас. %	7,5 мас. %	10 мас. %	7,5 мас. %	10 мас. %	7,5 мас. %	10 мас. %	7,5 мас. %	10 мас. %
Фазовий вміст, мас. %												
α-Ti (ГЦП)	52	71	67	63	72	1	94	90	90	87	91	89
β-Ti (ОЦК)	46	28	18	23	16	74	5,5	0,5	9	0,54	8,2	0,4
TiB (ГП)	1,8	1	9,6	12	12	49	0,5	9,5	1	12	0,8	10,6
TiB <sub>2</sub>	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-

Для порівняння впливу методів спікання на рисунку 3.7 та рисунку 3.8 показані гістограми, по яким можна відзначити насичення сплаву VT6 керамічною сполукою TiB при пічному спіканні.

Видно, що при електронно-променевому спіканні розчинність TiB в сплаві VT6 вища, ніж при пічному спіканні.

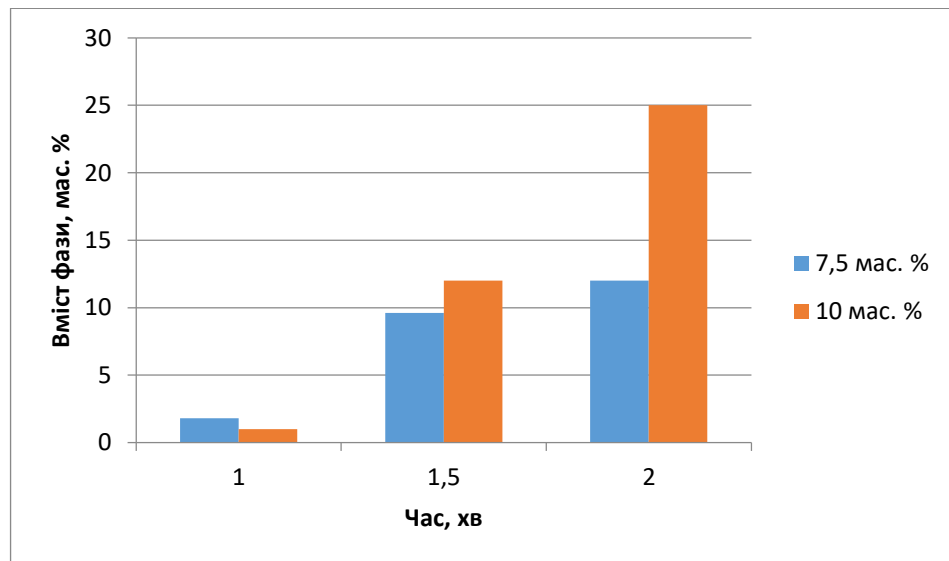


Рисунок 3.7 – Гістограма залежності вмісту TiB від часу витримки методом електронно-променевого спікання

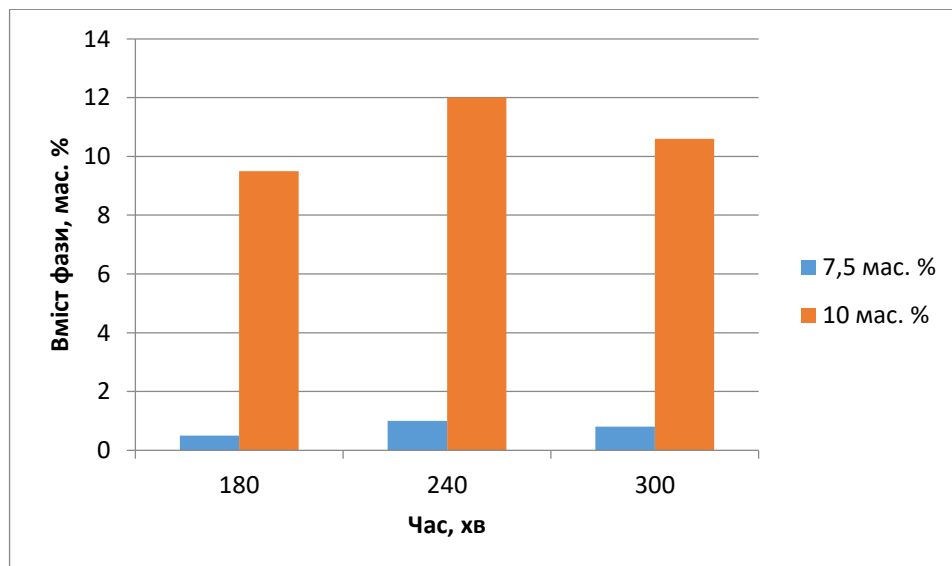


Рисунок 3.8 – Гістограма залежності вмісту TiB від часу витримки методом пічного спікання

Насичення відбувається в наслідок можливого переходу бору з TiB в фазові складові сплаву VT6. Як  $\alpha$ -фази, так і  $\beta$ -фази розчиняють бор. При ЕПС розчинність TiB в сплаві VT6 вища, ніж при пічному спіканні.

Різна кількість ТiВ в сплаві пояснюється різним часом витримки при температурі, яка дифузійним чином розчиняє бор в сплаві. ЕПС дозволяє отримати вищі концентрації ТiВ в сплаві ВТ6, ніж пічне спікання.

За даними рентгенографічного аналізу було визначено розмір області когерентного розсіювання (далі – ОКР) за методом Williamson-Hall та деформацію, по зміщенню відбитків, для зразків з 7,5 мас. % і 10 мас. % ТiВ<sub>2</sub>. На рисунку 3.9 наведено такий аналіз для 7,5 мас. % ТiВ<sub>2</sub>.

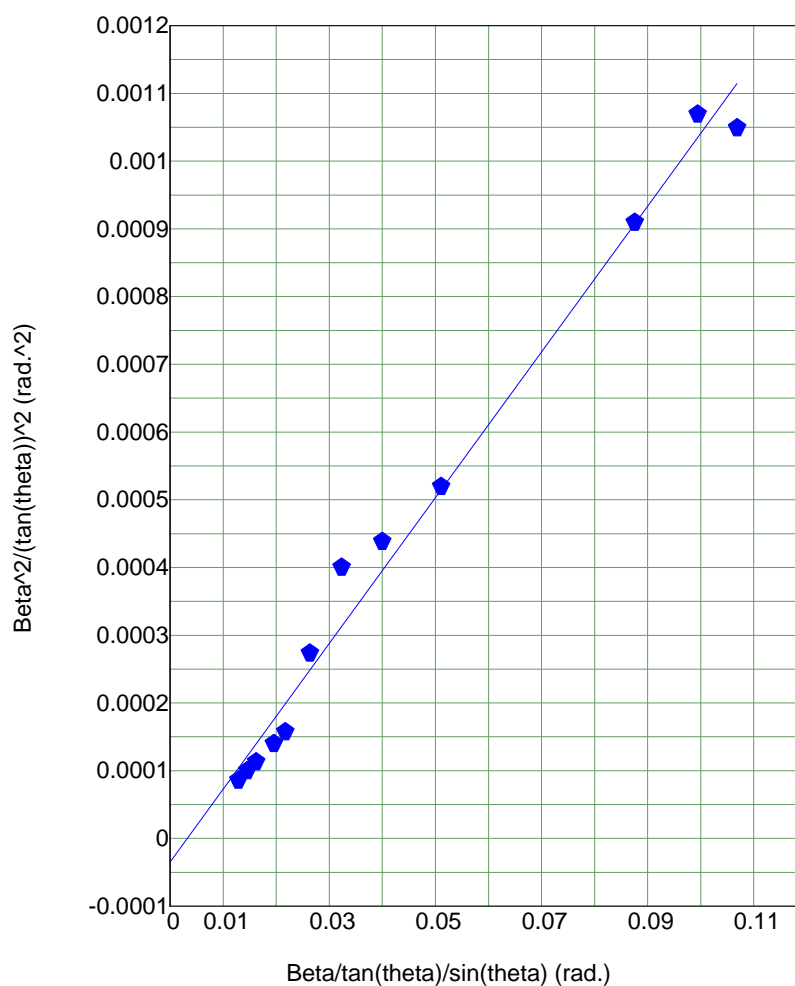


Рисунок 3.9 – Визначення розміру ОКР та залишкових напружень для зразка сплаву ВТ6 із 7,5 мас. % ТiВ<sub>2</sub>

Після порівняння розмірів ОКР для зразків з 7,5 та 10 мас % вмісту ТiВ<sub>2</sub> (табл. 3.4), було визначено наступне. За розміром ОКР видно, що є велика

розбіжність значень між цими зразками. Розмір ОКР зменшується в декілька разів в усіх фазових складових при зростанні кількості  $TiB_2$  в порошковій суміші з 7,5 та 10 мас %. Такий результат, на нашу думку, відповідає збільшенню кількості  $TiB$  в спечених зразках від 1 % до 12 %. Перетворення  $TiB_2 \rightarrow TiB$  при спіканні проходить за проростання часточок  $TiB_2$  в матрицю  $VT_6$ , переважно в  $\beta$ -фазу, в напрямку (100). Частилки  $TiB_2$  перетворюють мікроструктурну складову сплаву на голчасту. Проростання голок  $TiB$  призводить до подрібнення фазових складових сплаву  $VT_6$  і їх ОКР розмірів. На відміну від  $\beta$ -фази,  $\alpha$ -фаза  $VT_6$  не деформується. Це явище може бути пов'язано із більшим модулем пружності  $\alpha$ -фази порівняно із  $\beta$ -фазою  $VT_6$  і проростанням  $TiB$  в  $\beta$ -фазу, оскільки розчинність в  $\beta$ -фазі вища порівняно із  $\alpha$ -фазою.

Таблиця 3.4 – Порівняльний аналіз розмірів ОКР та деформації для зразків 7,5 мас. % та 10 мас. %  $TiB_2$  за пічним спіканням

Фаза	7,5 мас. % $TiB_2$		10 мас.% $TiB_2$	
	розмір ОКР, Å	деформація, %	розмір ОКР, Å	деформація, %
ГЦП $\alpha$ -фаза $VT_6$	150	0,00	39	0,00
$\beta$ - фаза $VT_6$ (ОЦК $\beta$ -фаза)	1085	0,015	109,4	0,025
$TiB$ (ГП)	1458	0,22	249	0,15

За даними різниці кутів відбиття, що відображаються міжлощинною відстанню та деформацією (таблиця 3.5) для зразків 7,5 мас. % та 10 мас. %  $TiB_2$  при пічному спіканню було проведено аналіз залишкових напружень за законом Гука.

Таблиця 3.5 – Порівняння міжплощинних відстаней та їх різниці в зразках 7,5 мас. % TiB<sub>2</sub> та 10 мас. % TiB<sub>2</sub>

Фаза	d, Å, 7,5 мас. % TiB <sub>2</sub>	d, Å, 10 мас. % TiB <sub>2</sub>	Δd, Å	2-Θ (град.)
Titanium, titanium boride	2,54000	2,52900	0,00010	35,38
Titanium, titanium boride	2,34050	2,34200	-0,00150	38,415
β-Titanium	2,23600	2,22000	0,01600	40,453
Titanium, titanium boride	2,15373	2,15385	-0,00012	41,91065
Titanium boride,	2,13041	2,12911	0,00130	42,4062
Titanium boride	1,94706	1,94871	-0,00165	46,58745
Titanium boride	1,85311	1,85214	0,00097	49,13665
β-Titanium	1,72430	1,71100	0,01330	53,29
Titanium, titanium boride	1,52556	1,53800	-0,01244	60,69045
β-Titanium	1,46930	1,46390	0,00540	63,365
Titanium boride	1,35660	1,35800	-0,00140	69,165
Titanium, titanium boride	1,33139	1,32460	0,00679	70,904
Titanium, β-Titanium, titanium boride	1,24450	1,23960	0,00490	76,66
Titanium, β-Titanium	1,22550	1,22451	0,00099	77,92515
Titanium, titanium boride	1,11768	1,11508	0,00260	87,2575
Titanium, titanium boride, β-Titanium	1,06295	1,05942	0,00353	93,08285

Із таблиці можна відзначити переважний зсув ліній β-фази із знаком “+” та, приблизно в десять разів менший зсув ліній α-фази із знаком “-”. Залишкові напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma = \left( -E/\mu \right) \cdot \left( \Delta d/d \right),$$

де  $E$  – модуль пружності;

$\mu$  – коефіцієнт пружності;

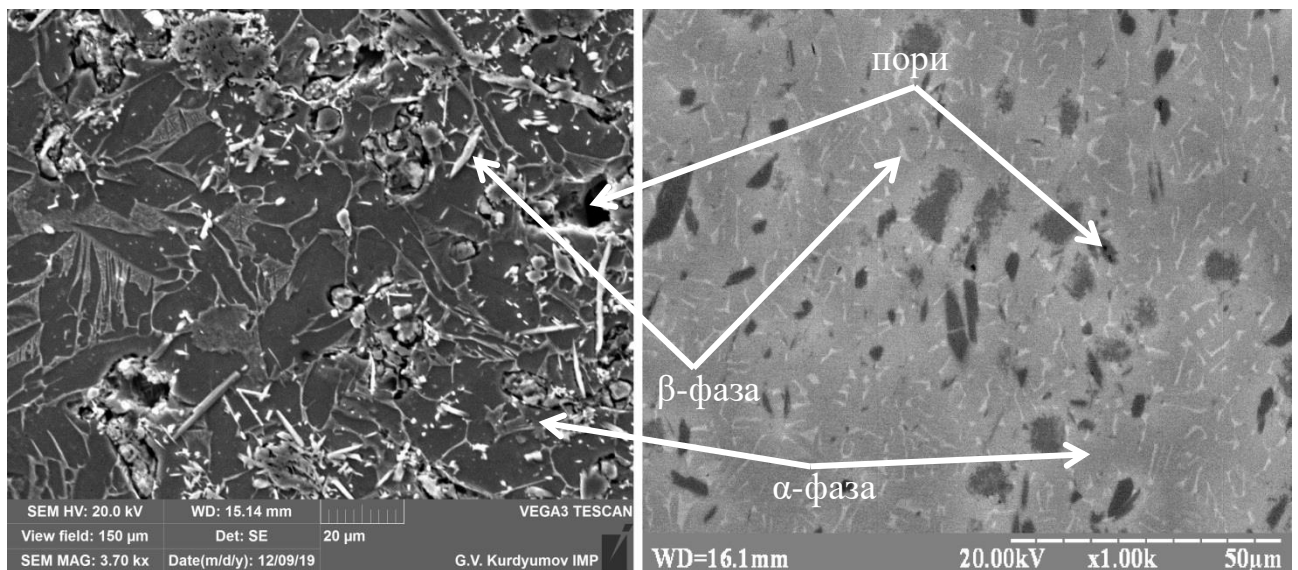
$d$  і  $\Delta d$  – міжплощинна відстань для площини  $\{200\}$ , і відповідно  $\Delta d/d$  – деформація.

$$\sigma = (-90 / 0,32) \cdot (0,01330 / 1,72430) = 270 \cdot 8,10^{-3} = 2,16 \text{ ГПа.}$$

Залишкові напруження в  $\beta$ -фазі в зразках із 10 мас. %  $\text{TiB}_2$  збільшуються на приблизно 2 ГПа, порівняно із зразками із 7,5 мас. %  $\text{TiB}_2$ . Оцінка напруження в  $\alpha$ -фазі приблизно в 10 разів менші залишкові напруження.

### 3.2 Металографія спечених зразків різними методами

На рисунку 3.9 а зображено мікроструктуру спеченого зразку електронно-променевим методом де добре видно проростання  $\text{TiB}$  в  $\beta$ -фазу, на рисунку 3.9 б  $\text{TiB}$  дуже дрібна, то її погано видно.



а

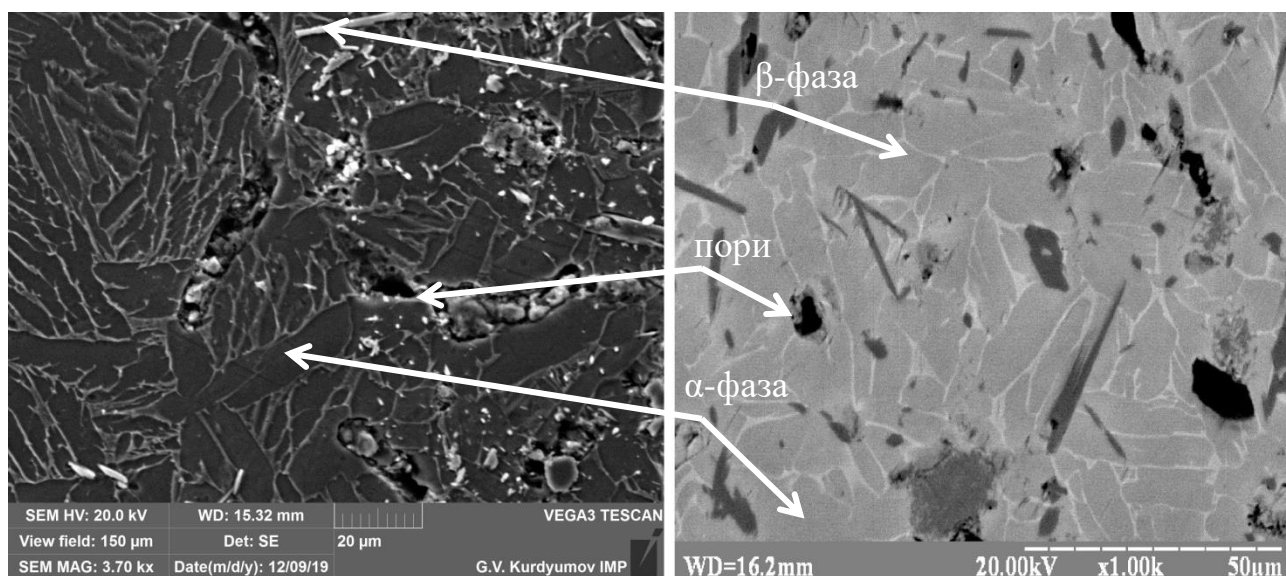
б

а – методом ЕПС; б – пічним методом

Рисунок 3.9 – Мікроструктури спечених композитів ВТ6- $\text{TiB}_2$  7,5 мас. %

На відміну від використання 7,5 мас. % при 10 мас. %, розмір  $\alpha$ -фази набагато дрібніший (рис. 3.10 а, 3.10 б).





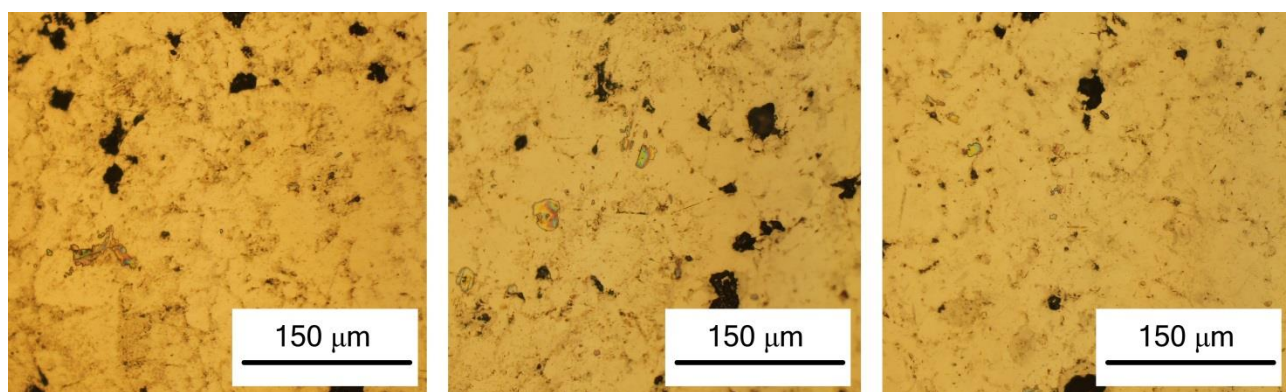
а

б

а – методом ЕПС; б – пічним методом

Рисунок 3.10 – Мікроструктури спечених композитів ВТ6-ТіВ<sub>2</sub> 10 мас. %

Зміна часу витримки при електронно-променевому спіканні практично не змінює розміри фазових складових із 7,5 мас. % ТіВ<sub>2</sub> (рис. 3.11 а – 3.11 в)



а

б

в

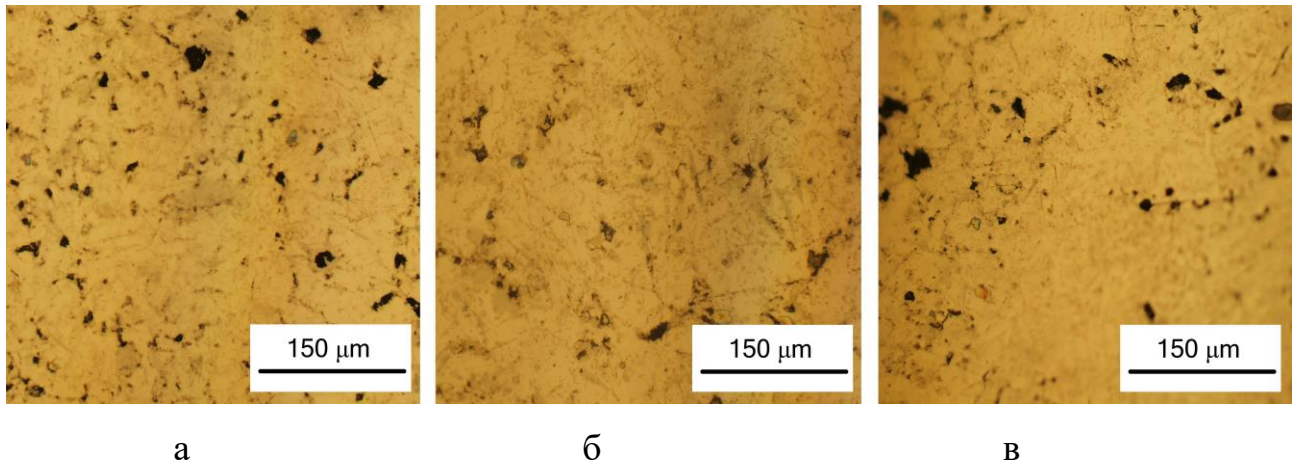
а – час витримки 60 с; б – час витримки 90 с; в – час витримки 120 с

Рисунок 3.11 – Оптичні макроструктури композитів спечених ЕПС методом ВТ6-ТіВ<sub>2</sub> 7,5 мас. %

Також зміна часу витримки при ЕПС практично не змінює розміри фазових складових і при 10 мас. % ТіВ<sub>2</sub> (рис. 3.12 а – 3.12 в). Розміри фазових складових

при ЕПС методі, в першу чергу, визначаються початковими розмірами використаних порошків.

Розміри фазових складових при пічному методі спікання, в першу чергу визначаються часом витримки при спіканні.



а – час витримки 60 с; б – час витримки 90 с; в – час витримки 120 с

Рисунок 3.12 – Оптичні макроструктури композитів спечених ЕПС методом  
ВТ6- $\text{TiB}_2$  10 мас. %

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [19].

Зокрема, охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві, створення для них безпечних умов, поступову ліквідацію шуму і вібрацій, запиленості виробничих приміщень, будівництво і реконструкцію санітарно-побутових приміщень, поліпшення забезпечення робітників засобами індивідуального захисту [20].

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих чинників в процесі отримання композиційних матеріалів на основі титану та його сплавів, а також дотримання заходів для створення здорових і безпечних умов праці та усунення можливої надзвичайної ситуації.

Було використано наступні основні матеріали: порошок  $TiB_2$ ,  $Ti$  та сплав ВТ6. Дана дипломна робота проводиться в декількох лабораторіях факультету: 022 – дозування порошків, пресування; 010 – електронно-променево спікання. Основна робота проводилась у лабораторії 022, де було виготовлено зразки, зокрема, їх було спресовано.

### **4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)**

Як було зазначено, робота проводилась в корпусі № 9, в науково-дослідній лабораторії 022, в якій проводилась ключова технологічна операція – пресування. Більшість шкідливих і небезпечних виробничих факторів відносяться до фізичних факторів (фактори, що створюють небезпеку механічного травмування, підвищені

рівні напруги, замикання ланцюга через тіло людини, електромагнітне, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, пил фіброгенної дії тощо).

Перед пресуванням змішаних порошків проводилась наважка суміші, під час цієї операції є ймовірність попадання нанопорошків в очі та до дихальних шляхів людини. Щоб запобігти цьому потрібно використовувати повнолицевий респіратор.

Операція пресування проводилася на гідравлічному пресі RP-L023 без електрифікації, що унеможлиблює ураження електричним струмом. Прес може розвивати тиск пресування 1,2 ГПа. Оскільки прес механічний, для унеможливлення потрапляння частин одягу чи волосся до рухомих частин потрібно використовувати спеціальний одяг. Для даної магістерської роботи було використано тиск пресування 650 МПа, для чого використовувалася циліндрична нерозбірна прес-форма з подвійними стінками матриці, що підвищує надійність даного обладнання. Для усунення небезпеки під час процесу пресування необхідно використовувати захисний сталевий екран, який кріпиться на прес, що унеможлиблює травмування у разі руйнування пуансона або матриці.

## **4.2 Безпека технологічного обладнання**

Під час виконання даної магістерської дисертації використовувалося таке спеціальне обладнання: прес RP-L023; сушильна шафа ВШ-035; електронно-променева установка СВ112.

Особливості роботи та засоби безпеки на гідравлічному пресі RP-L023 вказані в розділі 4.1.

Після пресування сушка зразків проводилася в електричній сушильній шафі ВШ-035 при температурах від 80 °С до 100 °С. Шафа живиться від мережі 220 В, заземлена та керується за допомогою електронного терморегулятора і термопари, що вмонтовані в корпус установки. Основну небезпеку становить висока температура в шафі, то ж щоб запобігти опікам потрібно завантажувати зразки до

включення нагріву, а вивантаження робити після охолодження камери до кімнатної температури.

Ключовою технологічною операцією є спікання зразків на електронно-променевої установці СВ112. Установка укомплектована робочою вакуумною камерою 700 мм x 700 мм x 700 мм, двокоординатним столом та електронною гарматою потужністю 6,5 кВт з максимальною напругою 60 кВ. Камера укомплектована захисним склом від ультрафіолетового опромінення та захисною сіткою від попадання відбитих електронів на оператора установки. Захист від іонізуючого випромінювання електронної гармати реалізовується захисною свинцевою трубкою в порожнинній частині гармати. Всі електрифіковані вузли живлення установки знаходяться в замкненому корпусі, що зводить до мінімуму враження електричним струмом. Для запобігання враження органів зору від видимого випромінювання використовують затемнене скло. Вплив шкідливих речовин незначний так як всі гази під час спікання викачуються через вентиляційні канали на зовні лабораторії. Через роботу форвакуумного насоса в лабораторії підвищений шум, то ж рекомендується через кожні 2 години роботи робити 30 хвилин перерви.

Також установка СВ112 обладнана пристроєм захисного вимикання – високонадійною швидкодіючою системою захисту, яка застосовується в електроустановках, які потребують високого рівня безпеки. Струмopрoвідні кабелі установки ізолювані по всій довжині та захищені від механічних ушкоджень та екрановані, що частково запобігає електромагнітному випромінюванню. За способом захисту людини від ураження електричним струмом установка СВ112 відносить до I класу електротехнічних виробів, що мають робочу ізоляцію та елемент для заземлення, виріб має провід для приєднання до джерела живлення, та має заземлюючу жилу і вилку із заземлюючим контактом.

### 4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися під час виготовлення виробів з титанових сплавів, належать: пожежа, розрив або зруйнування обладнання, що може призвести до ураження струмом тощо.

Оскільки в роботі використовуються негорючі речовини й матеріали, то основним джерелом небезпеки є електричні установки. З метою запобігання виникненню та ліквідації можливих пожеж в лабораторії передбачені вогнегасники типу ОУ-5 та пожежні стенди.

Для запобігання надзвичайної ситуації у випадку розриву вакуумної камери в установці СВ112 встановлені запобіжники, які при різкому втраті вакууму відкривають клапан забору повітря.

Для евакуації персоналу під час виникнення пожежі передбачено план евакуації, який наведено на рисунку 4.1.

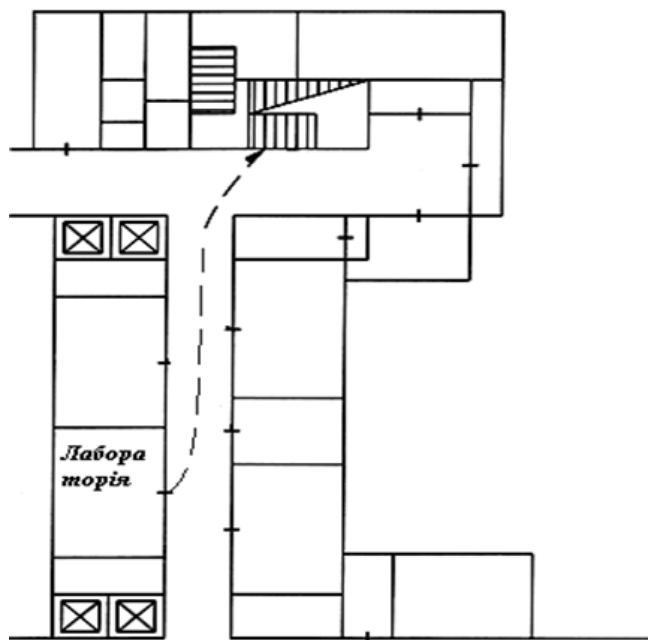


Рисунок 4.1 – План евакуації з приміщення

Розглянуті технологічні операції, що були проведені у ході виконання магістерської дисертації, з точки зору охорони праці та безпеки в надзвичайних

ситуаціях, можна зробити висновок, що всі технологічні операції відповідають нормам, що встановлені законодавством. Спеціальне обладнання має необхідні захисні деталі та елементи: сталевий екран, захисне вимкнення, запобіжники та інше. Робочі місця ергономічні, є можливість відпочинку та відведені спеціальні місця для нагляду за обладнанням. Частина процесів повністю автоматизована. Устаткування виконане з якісних матеріалів. Самі технологічні процеси максимально знижують можливий контакт із небезпечними речовинами. Проаналізовано вимоги безпеки в надзвичайних та аварійних ситуаціях.

## 5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Під час виконання магістерської дисертаційної роботи було виготовлено сплав ВТ6 з додаванням  $TiB_2$  методом електронно-променевого спікання, для цього використовувалося таке електричне обладнання як сушильна шафа та електронно променева установка для спікання, марки СВ112.

У даному розділі проведемо розрахунок кількості електроенергії, необхідної для забезпечення роботи цеху.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи :

$$\mathcal{E} = M \times \Phi_0 \times \eta_{zg} \times K_1 \times K_2, \quad (5.1)$$

де  $M$  – встановлена потужність обладнання, кВт;

$\Phi_0$  – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{zg}$  – коефіцієнт завантаження обладнання;

$K_1$  – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

$K_2$  – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення



виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

$$Q = \frac{S \times q \times \tau \times f}{1000}, \quad (5.2)$$

де  $S$  – освітлювальна площа, м<sup>2</sup>;

$q$  – поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau$  – число годин горіння на рік;

$f$  – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину  $q$  зазвичай приймають: для виробничих приміщень – від 11 Вт/м<sup>2</sup> до 15 Вт/м<sup>2</sup>, для побутових і службових приміщень – 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення  $\tau$  приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год., для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7; для підвалів – 0,9.

За формулами 5.1 та 5.2 було проведено розрахунок обсягу витрат електроенергії на обладнання та освітлення виробничих приміщень, результати розрахунків витрат електроенергії зведено в таблицях 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	К-сть споживачів	Р, кВт	Фонд роб. часу на рік, год	К-ент завантаж.	К-ент одночасності	К-ент, Р <sub>вик</sub>	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Сушильна шафа	1	2	1000	0,5	0,6	0,7	1050
Електронний промінь	1	15	740	0,9	0,8	0,7	5595
Усього витрат, кВт·год							6645

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м <sup>2</sup>	Поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м <sup>2</sup>	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	54	11	2500	0,8	1188
Усього витрат, кВт·год					1188

## **6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ**

### **6.1 Науково-технічна актуальність магістерської роботи**

Титанові сплави мають унікальний комплекс фізико-механічних властивостей, що робить їх незамінними в багатьох галузях промисловості. Основними споживачами титанових сплавів є аерокосмічна галузь, а також суднобудування, хімічна промисловість, медицина. Різні сфери використання титану зумовлені його властивостями – високою питомою міцністю, унікальною корозійною стійкістю в різних середовищах, зокрема в людському організмі, більшості органічних та мінеральних кислот, лугах, низьким коефіцієнтом термічного розширення, відносно високою температурою плавлення.

На сьогоднішній день однією з головних проблем матеріалознавства титану є розробка нових технологій, що забезпечать суттєве зниження вартості титанових виробів (до рівня конкурентоспроможності титану у порівнянні з іншими конструкційними матеріалами). При цьому надзвичайно важливо не допустити зниження привабливих характеристик титанових сплавів і композитів. Методи порошкової металургії є найбільш перспективними для зниження вартості виробів на основі титану.

### **6.2 Мета і завдання дипломної роботи**

Метою даної роботи є дослідження доцільності використання методу електронно-променевого спікання титанового сплаву VT6-TiB<sub>2</sub>. Порівняння фазових та структурних результатів спечених зразків пічним та електронно-променевим методами.

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати наступні завдання:

- а) провести аналіз публікацій з теми і обґрунтувати напрями досліджень;
- б) розробити методіку проведення дослідження;
- в) дослідити можливість спікання електронно-променевим методом;
- г) провести спікання спресованих заготовок;

- д) виготовити шліфи для мікроскопічних досліджень;
- е) дослідити мікроструктуру отриманих зразків;
- ж) провести рентгеноструктурний аналіз;
- з) обробити отримані дані та узагальнити результати.

## **7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **7.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження**

Розрахунок витрат на виконання даної роботи дає можливість визначити планову кошторисну вартість. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Запланована собівартість роботи визначається за наступними пунктами витрат:

- а) заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- б) єдиний соціальний внесок;
- в) вартість спеціального обладнання для виконання магістерської дисертації;
- г) вартість матеріалів, необхідних для проведення магістерської дисертації;
- д) витрати на службові відрядження;
- е) інші прямі невраховані витрати по темі;
- ж) накладні витрати.

#### **7.1.1 Витрати на оплату праці**

Витрати за цією статтею включають заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людиноднях.

При виконанні даної магістерської роботи буде задіяно такі трудові ресурси: відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, який приймає участь в усіх етапах дослідження та здійснює безпосередній контроль, інженер дослідник відповідальний за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів, молодший науковий співробітник та лаборант приймають участь в дослідженні,

до їх обов'язків входить забезпечення технічної бази дослідження, налаштування та допомога в експлуатації обладнання, попередній аналіз результатів, консультації.

Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок трудомісткості виконання магістерської дисертації

Етапи магістерської дисертації	Трудомісткість людино-днів		
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лаборант
Підготовчий етап	9	8	-
Проведення експерименту	14	31	28
Написання записки	6	10	-
Оформлення, перевірка та захист	5	8	-
Разом	34	57	28

Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для магістерської дисертації з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців.

Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок фонду заробітної плати виконавців теми

Посада	Трудомісткість людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	34	11 627	548,4	19869,6
Інженер-дослідник	57	6000	283	16131
Лаборант	28	4900	227,9	6381,2
Разом				42381,8

### 7.1.2 Єдиний соціальний внесок

Сума єдиного соціального ( $V_C$ ) визначаються у відсотках у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22 % загального фонду заробітної плати.

Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$V_C = 42381,8 \cdot 0,22 = 9323 \text{ грн.}$$

### 7.1.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі

Витрати на матеріали, які необхідні для проведення даної магістерської, вираховуються з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 7.3.

Транспортно-заготівельні витрати складають 10% від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті становлять:

$$V_{M(\text{заг})} = 325,7 \cdot 1,1 = 455,18 \text{ грн.}$$

Таблиця 7.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання ДР

Найменування матеріалів	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
<b>Порошок</b>					
TiH <sub>2</sub>	ДСТУ 3795-98[21]	кг	0,2	1000	200
6Al-4V	ГОСТ 19807 – 91[22]	кг	0,1	538	53,8
TiB <sub>2</sub>	ТУ 6-0903-7-75[15]	кг	0,05	3200	160
Разом					413,8

#### 7.1.4 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

В роботі використовуються вже існуюче обладнання: лабораторні терези, гідравлічний прес RP-L023, сушильна шафа, електронно-променева установка СВ112, установка Rigaku Ultima IV.

Спеціальне устаткування для виконання магістерської дисертації не закуповувалось.

#### 7.1.5 Витрати на службові відрядження

Всі роботи, що стосуються магістерської дисертації, проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», тому витрати на виробничо-наукові відрядження не передбачені.

#### 7.1.6 Інші прямі невраховані витрати

Даний пункт поєднує в собі всі витрати на проведення магістерської дисертації, що не увійшли до попередніх пунктів, а саме: оплата спеціалістів з



інших організацій, оплата консультацій, використання обладнання інших організацій тощо [23].

При проведенні роботи інші прямі невраховані витрати складають 10 % від суми врахованих витрат на магістерську дисертацію.

$$I_B = (42381,8 + 9323 + 455,8) \cdot 0,1 = 5216,06 \text{ грн.}$$

### 7.1.7 Накладні витрати

До накладних витрат ( $H_B$ ) відносять:

а) заробітна плата адміністративно – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;

б) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;

в) витрати, що стосуються охорони праці та на техніки безпеки;

г) утримання та експлуатація виробничих площ, приладів, устаткування та установок;

д) витрати на охорону;

ж) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» величина накладних витрат складає 20 % від суми всіх прямих витрат по темі [24].

$$H_B = (42381,8 + 9323 + 455,8 + 5216,06) \cdot 0,20 = 11475,33 \text{ грн.}$$

### 7.1.8 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації

Проведені розрахунки дають можливість визначити загальну заплановану кошторисну вартість виконання магістерської дисертації [25]. Плановий кошторис витрат стосовно теми досліджень наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Планова кошторисна вартість ДР по темі

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	42381,8	61,55	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	В <sub>С</sub>	9323	13,54	22 % від ЗП
Вартість основних матеріалів	В <sub>М</sub>	455,18	0,66	За розрахунками
Вартість спец. обладнання	В <sub>ОБ</sub>	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	В <sub>СО</sub>	-	-	Не планується
Інші прямі невраховані витрати	І <sub>В</sub>	5216,06	7,58	10 % від суми врахованих прямих витрат
Накладні витрати	Н <sub>В</sub>	11 475,33	16,67	20 % від усіх прямих витрат по темі
Разом	В <sub>ДР</sub>	68 851,37	100	Сума всіх попередніх статей

## 7.2 Економічна ефективність магістерської дисертації

Розрахунок очікуваного економічного ефекту магістерської дисертації необхідний для визначення доцільності проведення даної роботи. Однак, економічний ефект може бути розрахований тільки по магістерським роботам, які безпосередньо націлені на створення нових матеріалів, покращення параметрів та якості продукції, а також створення нових конструкцій тощо [26].

За основний показник ефективності фундаментальних досліджень беруть науково-технічний ефект. Науково-технічний ефект ( $E_{нт}$ ) пошукових та прикладних досліджень кількісно визначають узагальненим показником, який враховує рівень часткових показників: новизну, перспективність та ступінь реалізованості наслідків дипломної роботи.

Узагальнений показник можна визначити за допомогою оцінок, виражених у балах (табл. 7.5):

$$E_{HM} = \sum_{i=1}^3 R_i * Q_i, \quad (7.1)$$

де  $R_j$  – коефіцієнт вагомості новизни (0,4), перспективності (0,2) та реалізованості наслідків наукової роботи (0,4);

$Q$  – новизна, перспективність та реалізованість, балів.

Таблиця 7.5 – Оцінка науково-технічного ефекту магістерської роботи

Показник магістерської роботи	Характеристика результатів	Бали
Новизна	Техніко-економічні показники нової технології на галузевому рівні.	8
Перспективність	Технологія може бути впроваджена у порошковій металургії.	8
Реалізованість	Термін впровадження нової технології.	8

Узагальнений показник:

$$E_{HT} = 8 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,4 = 8 \text{ балів.}$$

Розрахований показник свідчить про доцільність виконання магістерської дисертації по даній темі.

### 7.3 Висновки

Обґрунтовано науково-технічну актуальність виконання досліджень стосовно теми магістерської дисертації. Розраховано планово-кошторисну

собівартість проведення магістерської дисертації з урахуванням витрат всіх видів ресурсів.

Розраховано показник умовної економічної ефективності проведення роботи.

## **8 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ**

### **8.1 Актуальність**

В останні роки великого поширення серед організацій-початківців і різних об'єднань молодих вчених набули startup-проекти (стартапи). Стартап – це тільки-но створена компанія (можливо, навіть не є ще юридичною особою), яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес або на основі нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які щойно з'явилися. Для стартапу характерні: обмеженість початкових інвестицій; швидкий розвиток; низькі шанси на успіх. Основним документом, що характеризує стартап, є бізнес-план – обов'язковий письмовий документ, що визначає ділові можливості та перспективи подальшого розвитку, а також роз'яснює, як ці можливості можуть бути реалізовані наявною командою [27].

Для задоволення потреби машинобудування, металообробки та інших галузей де необхідні матеріали для обробки, а також забезпечення економії дорогих і дефіцитних марок сталі, що застосовуються при виготовленні інструменту і деталей машин, необхідно розвивати та впроваджувати нові титанові сплави. Вони можуть забезпечити довговічність та надійність деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації. Розробка та отримання твердих сплавів є дуже важливим завданням.

Останнім часом набуло поширення отримання матеріалів подібних до титанових сплавів методом електронно-променевої плавки та лазерної плавки.

### **8.2 Мета і завдання стартап-проекту**

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції

стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

### 8.3 Опис ідеї проекту

В межах підпункту слід послідовно проаналізувати певні ідеї:

- а) зміст ідеї (що пропонується);
- б) можливі напрямки застосування;
- в) основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- г) чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Опис ідеї стартап-проекту описаний в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення виробів на основі порошків сплаву ВТ6 методом електронно-променевої та лазерної плавки	Літакобудування; Виготовлення волочильних виробів.	Отримання необхідної форми виробу без додаткових операцій обробки; Екологічна чистота процесу; Зменшення часу виготовлення виробів

#### 8.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту

У межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Отримання виробів з титанового сплаву з ВТ6 методом електронно-променевого спікання	Електронно-променевого спікання	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не створює жодних перешкод, оскільки вона існує на ринку та доступна для реалізації.

#### 8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Сегмент споживачів: для аналізу попиту на ринку дослідження звузимо до рівня м. Києва.

Ринок споживачів – нішевий (вузький профіль – виробництва, які використовують матеріали з титанового сплаву типу ВТ).

Канали збуту: використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

Взаємодія зі споживачами: особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності. Із потенційними споживачами –

підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (20 %). З 25.10.2019 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 15,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Застосування твердих матеріалів.	Виробництва, заводи.	Новітня техніка та технології, які застосовуються; Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; Надійність, оптимальна пористість.	Якість; допустима собівартість; Надання чітких гарантій; Швидкість виконання.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають приведено в таблиці 8.4 та 8.5. Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера [28]).



М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- конкурент, що вже є у галузі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі.

Таблиця 8.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва

Таблиця 8.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість вербування високо кваліфікаційних спеціалістів.  Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, а також сильних і слабких сторін приведено в таблицях 8.6 та 8.7.

Таблиця 8.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
Молодий і кваліфікований колектив; Порівняно недорогі початкові матеріали; Дуже широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі; Послуга дешевша наявних на ринку аналогів	Брак власного устаткування; Додаткові транспортні витрати; Наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Таблиця 8.7 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (О):	Загрози (Т):
Посилення позиції на ринку; Вихід на нові сегменти ринку; Збільшення різноманітності Підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.	Зростаюче конкурентний тиск; Копіювання конкурентами; Поява нових конкурентів з товарами-замінниками; Захвачені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод отримання виробів з твердого сплаву дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати високо якісну та дешеву для клієнта продукцію.

### 8.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках

матеріальних факторів виробництва; по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- проникнення на ринок;
- розвиток ринку;
- розробка товару;
- диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації.

Наступним кроком є вибір базової стратегії конкурентної поведінки, результати якої зведено в таблицю 8.8.

Таблиця 8.8 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції, компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

## 8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.9 підсумували результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

Таблиця 8.9 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Виготовлення жароміцних частин ракет та літаків	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Новий метод який дозволить швидко отримувати вироби готової форми без потреби додаткової обробки.

## 8.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню загалом.

Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й ввести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів.

## **8.8 Висновки до розділу**

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей. Вироби отриманні методи електронно-променевого спікання дозволять значно підвищити міцність та щільність деталей. Також деталі з титанового сплаву, які не потребують додаткової обробки та здатні працювати при високих температурах в агресивних середовищах відразу приверне увагу користувачів.

Стартап-проект має переваги над конкурентами, ідея є свіжою і має потенціал для розвитку, подальша імплементація і покращення технології

приведе до підвищення рентабельності, що зробить проект більш привабливим для інвестицій.

## ВИСНОВКИ

Проведено дослідження по формуванню структури композиту на основі сплаву титану ВТ6 із легуванням  $TiB_2$  двома методами порошкової металургії: пічне спікання пресованих порошків необхідної концентрації ( $TiH_2$ , Al, V,  $TiB_2$ ) та їх спікання електронно-променевим методом.

Досліджено фазовий і структурний стани композитів при використанні 7,5 мас. %  $TiB_2$  та 10 мас. %  $TiB_2$ .

Визначено зміну густини композитів при спікання електронно-променевим методом, яка в межах похибки при використанні 7,5 мас. %  $TiB_2$  залишається практично однаковою із зміною параметрів спікання та зменшується при 10 мас. %  $TiB_2$  на 0,17%, що пов'язано із збільшенням концентрації бору та пористості композитів.

При спіканні відбувається перехід  $TiB_2 \rightarrow TiB$  за рахунок переважної швидкості росту частинок  $TiB_2$  в найбільш щільному напрямку (100) при достатній концентрації титану.

При пічному спіканні настає насичення сплаву ВТ6 керамічною сполукою  $TiB$ . Насичення відбувається в наслідок переходу бору в фазові складові сплаву ВТ6, оскільки  $\alpha$ - і  $\beta$ -фази розчиняють бор. При електронно-променевому спіканні можливо збільшити концентрацію  $TiB$ , яка в проведених експериментах зросла від 2 до 2,5 разів.

Зміна часу витримки при ЕПС спіканні практично не змінює розміри фазових складових та значення ОКР як із 7,5%, так і при 10 мас. %  $TiB_2$ . Розміри фазових складових визначаються початковими розмірами використаних порошків. При пічному спіканні розміри фазових складових визначаються часом витримки при температурі спікання і зростають з її збільшенням, а розмір ОКР залежить від повноти  $TiB_2 \rightarrow TiB$  переходу.

Залишкові напруження фазових складових сплаву ВТ6 розрізняються: в  $\beta$ -фазі напруження приблизно в 10 разів вищі від  $\alpha$ -фази, що зв'язано з більшим



модулем пружності  $\alpha$ -фази порівняно із  $\beta$ -фазою сплаву ВТ6 і проростанням ТіВ в  $\beta$ -фазу, оскільки розчинність бору в цій фазі вища порівняно із  $\alpha$ -фазою.

## CONCLUSIONS

The study on the formation of the structure of the composite based on titanium alloy Ti6Al4V doped with TiB<sub>2</sub> by two methods of powder metallurgy: furnace sintering of the pressed powders of the required concentration (Ti, Al, V, TiB<sub>2</sub>) and their electron beam sintering. The result was the addition of 7,5 mass % and 10 mass % TiB<sub>2</sub>.

The change in the density of the composites during sintering by electron beam method, which is within the error when using 7.5 mass % TiB<sub>2</sub> remains practically the same as the sintering parameter changes and decreases with 10 mass % TiB<sub>2</sub> by 0,17% due to the increase in boron concentration and porosity of the composites.

During sintering, the TiB<sub>2</sub> → TiB transition occurs due to the predominant growth rate of TiB<sub>2</sub> particles in the densest direction (100) with sufficient titanium concentration.

During furnace sintering, saturation of the Ti6Al4V alloy with the TiB ceramic compound occurs. The saturation occurs due to the transition of boron into phase components of the Ti6Al4V alloy, as α- and β-phases dissolve boron. With electron beam sintering, it is possible to increase the concentration of TiB, which in the experiments performed increased from 2 to 2,5 times.

Changing the holding time at EBM sintering practically does not change the size of the phase components and region of coherent scattering values from 7,5% and at 10 mass % TiB<sub>2</sub>. The size of the phase components is determined by the initial size of the powders used. In the case of furnace sintering, the size of the phase components is determined by the holding time at the sintering temperature and increases with its increase, and the area of coherent scattering size depends on the completeness of the TiB<sub>2</sub> → TiB transition.

The residual stresses of the phase components of the BT6 alloy differ: c  
The β-phase stress is about 10 times higher than the α-phase, which is associated with a larger modulus of elasticity of the α-phase compared to the β-phase of the BT6 alloy

and the TiB germination into the  $\beta$ -phase, since the solubility of boron in this phase is higher than  $\alpha$ -phase.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів [Текст] / А. М. Степанчук. – К. : Центр учбової літератури, 2016. – 336 с.
2. Ярушин С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Текст] / С. Г. Ярушин. – М. : Юрайт, 2011. – 564 с.
3. Горынин И. В. Титан в машиностроении [Текст] / И. В. Горынин, Б. Б. Чечулин. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
4. Борисова Е. А. Металлография титановых сплавов [Текст] / Е. А. Борисова, Г. А. Бочвар, М. Я. Брун. – М. : Metallurgy, 1980. – 464 с.
5. Титановые сплавы в машиностроении [Текст] / Б. Б. Чечулин, С. С. Ушаков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн. – Л. : Машиностроение, 1977. – 248 с.
6. How electron beam melting (ebm) works [Electronic resource] / electronic professional publication; the head of the editorial board G. Freeman – Texas : «Thre3D», 2014. – Access mode: <https://web.archive.org/web/20140203071900/https://thre3d.com/how-it-works/powder-bed-fusion/electron-beam-melting-ebm>. – The name from the screen.
7. Лобода П. І. Фізико-хімічні основи створення нових боридних матеріалів для електронної техніки і розробка керамічних катодних вузлів з підвищеною ефективністю : дис. ... доктора техн. наук : 05.16.06 / Лобода Петро Іванович. – К., 2004. – 223 с.
8. Титан и сплавы титановые деформируемые [Текст] : ГОСТ 19807–91. – [Чинний від 1992-07-01]. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 5 с.
9. Ивасишин О. М. Синтез сплава Ti-6Al-4V с низкой остаточной пористостью методом порошковой металлургии [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, Ф. Фроес. – К. : Порошкова металургія, 2002. – 54 с.
10. Титан ВТ6 [Электронный ресурс] // [Центральный металлический портал]. – Режим доступа к ресурсу: <http://metallicheskiy->

portal.ru/marki\_metallov/tit/VT6. – Название с экрана. – Дата просмотра: 08.11.2019.

11. Івасишин О. М. Поверхневі явища при нагріванні порошку гідриду титану [Текст]: в 6 т. / О. М. Івасишин // Фізика і хімія твердого тіла : [збірник доповідей] / [Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України]. – Берлін : SPECS GmbH, 2011. – Т. 4. – С. 900 – 907

12. Титановые деформируемые сплавы [Электронный ресурс] // [Справочник по цветным металлам]. – Режим доступа к ресурсу: <https://libmetal.ru/titan/titan%203.htm>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 12.11.2019.

13. Лякишева Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст] / Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1996. – 992 с.

14. Стасюк Олександр Олександрович Закономірності впливу тугоплавких високо модульних сполук на структуру і властивості спечених титанових сплавів [Текст] : дис. ... к. т. н. : 05.16.06 / Олександр Олександрович Стасюк. – К., 2019. – 219 с.

15. Титан борид [Текст] : ТУ 6-09-03-521-86. – [Чинний від 1992-07-01]. – М. : Компанія «Комплекс», 2003. – 1 с.

16. Электронный микроскоп Vega 3 XM [Электронный ресурс] // [ООО "ТЕСКАН"]. – Режим доступа к ресурсу: <http://tescan.ru/product/vega-sem/vega-xm>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 15.11.2019.

17. Стасюк О. О. Особливості структуроутворення при спіканні порошкових сумішей системи  $TiH_2+TiB_2$  [Текст] / О. О. Стасюк // Фізика і хімія твердого тіла : [збірник доповідей] / [Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника]. – Івано-Франківськ : ПНУ ім. В. Стефаника, 2017. – С. 15 – 20.

18. Saito T. The automotive application of discontinuously reinforced TiB-Ti composites [Text] / T. Saito // JOM – 2004. – Vol. 56. – P. 33–36.

19. Документація. Закон України «Про охорону праці». – [Чинний від 1992-10-14]. – 1992. – (Закони України).

20. Ткачук К. Н. Основы охраны праці [Текст] / К. Н. Ткачук. – К. : Основа, 2006. – 448 с.

21. Порошки металеві. Визначення текучості за допомогою каліброваної лійки [Текст] : ДСТУ 3795-98 (ГОСТ 20899-98). – [Чинний від 2000-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 12 с.

22. Титан и сплавы титановые деформируемые [Текст] : ГОСТ 19807-91. – [Чинний від 2012-07-01]. – М. : Комитета стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 5 с.

23. Про затвердження вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками [Текст] : Z0097-18. – [Чинний від 2017-12-28]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 9 с.

24. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві [Текст] / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров. – К. : Основа, 2014. – 352 с.

25. Система стандартів безпеки труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам [Текст] : ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. – [Чинний від 2009-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2009. – 65 с.

26. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки [Текст] : ДСТУ 7234:2011. – [Чинний від 2011-11-29]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. – 34 с.

27. Что такое стартап (реальные примеры) – отличия и инвестиции [Электронный ресурс] // [РАММtoday]. – Режим доступа к ресурсу: <https://pammtoday.com/что-такое-startap.html>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 25.11.2019.

28. Модель пяти сил М. Портера [Электронный ресурс] // [Днепропетровская государственная финансовая академия]. – Режим доступа к ресурсу: <https://studfile.net/preview/5705909/page:27>. – Название с экрана. – Дата просмотра: 26.11.2019.