

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, факультет будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування інституту, факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Вплив гранулометричного складу

на властивості титанового сплаву ВТ1

Виконав: студентка 2 курсу, групи БАД 219сп

Спеціальності 132- Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Композиційні та порошкові матеріали, покриття

Рижова О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Широкобокова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Капустян О.Є.

(прізвище та ініціали)

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний; будівництва, архітектури та дизайну
 Кафедра Композиційні матеріали, хімія та технології
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри О.А. Мітяєв« 1 » жовтня 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

РИЖОВА Олександра Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вплив гранулометричного складу на властивості титанового сплаву ВТ1

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. Широкобокова Н.В.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» листопада 2020 року № 2722. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи)

Порошковий матеріал ВТ1-0. Вплив тиску пресування на щільність титану.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Виготовлення виробів з титану. Матеріали та методи досліджень. Вплив гранулометричного складу на структуру та властивості титанового сплаву ВТ1-0. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Екологіко-організаційна частина. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Ескіз заготовки після пресування. 2. Фото зразків, підготовлених до корозійних випробувань. 3. Макро- та мікроструктури сплаву ВТ1-0 з різними фракціями порошку. 4. Графіки впливу фракційного складу порошкового матеріалу ВТ1-0 на щільність та твердість.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3 Технічний	Широкобокова Н.В., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
4 Охорона праці та безпека	Акімов Ю.В., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
5 Економічний	Левченко Н.М., професор	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
6 Контроль	Акімов Ю.В., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7. Дата видачі завдання « 01 » жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	01.09-29.09.2020р.	
2	Матеріали та методи досліджень	04.10.2020р.	
3	Вплив фракціонетричного складу на структуру та властивості титанового сплаву BT1-0.	12.11.2020р.	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	23.11.2020р.	
5	Економіко-організаційна частина.	14.12.2020р.	
6	Оформлення пояснювальної записки	16.12.2020р.	

Студент(ка)

[Signature] Петрова Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

[Signature] Широкобокова Н.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 72 с, 24 рис., 11 табл., 34 літературних джерел.

Об'єкт дослідження - титан марки ВТ1-0 різного гранулометричного складу.

Предмет дослідження – процеси пресування при різному складі порошкового титану та їх вплив на структуру, механічні і експлуатаційні властивості.

Методи дослідження – теоретичний і експериментальний.

Метою роботи було визначити вплив дисперсності порошку титану ВТ1-0 на пористість, твердість та корозійну стійкість виробів з нього. Тиском пресування для різних фракцій порошку обрано 700МПа. Результати досліджень дозволили запропонувати використання порошку визначеного гранулометричного складу для отримання виробів з властивостями, наближеними до властивостей литого титану при менших витратах.

.

Ключові слова: ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД, СТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

The diploma work consists of 72 pages, 24 figures, 11 tables, 34 literary sources.

The object of the study is titanium brand BT1-0 of different particle size distribution.

The subject of research - pressing processes with different composition of titanium powder and their impact on the structure, mechanical and operational properties.

The research method is theoretical and experimental.

The purpose of this work was to determine the effect of dispersion of titanium powder BT1-0 on its porosity, hardness and corrosion resistance. The optimum compression pressure for different powder fractions was chosen to be 700 MPa. The research results suggest the use of powder of granulometrically determined composition to obtain products with properties close to the properties of cast titanium at lower cost.

Key words: TITANIUM ALLOY, POWDER METALLURGY, GRANULOMETRIC COMPOSITION, STRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES, CORROSION RESISTANCE.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1 Виготовлення виробів з титану.....	9
1.1 Титан та його властивості	9
1.2 Методи отримання титанових сплавів	10
1.3 Класифікація титанових сплавів та області застосування	13
1.4 Порошковий титан	21
1.5 Мета і задачі роботи	26
Розділ 2 Матеріали та методи досліджень.....	27
2.1 Виготовлення дослідницьких зразків	27
2.2 Металографічний аналіз та визначення властивостей	29
2.3 Корозійні випробування	30
Розділ 3 Вплив гранулометричного складу на структуру та властивості титанового сплаву VT1-0.....	33
3.1 Дослідження мікроструктури титанового сплаву	33
3.2 Корозійні випробування	37
Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	40
4.1 Аналіз потенційних небезпек	40
4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	41
4.3 Заходи щодо виробничої санітарії та охорони праці	45
4.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	53
4.4.1 Заходи з пожежної безпеки	53
4.4.2 Заходи з цивільного захисту	54
Розділ 5 Економіко-організаційна частина.....	57
5.1 Опис проєкту та середовища його реалізації	57
5.2 Опис життєвого циклу проєкту	59
5.3 Цінність проєкту (ідеї).....	60
5.4 Створення команди	63

5.5 Визначення потреби у інвестиціях	64
Висновки	69
Перелік джерел посилань	70

ВСТУП

На сьогоднішній день порошкова металургія є більш економічним методом виготовлення виробів в порівнянні з традиційними технологіями. Мінімальна кількість відходів та майже відсутня необхідність механічної обробки виробів є одними з головних переваг. Одним з найбільш перспективних порошкових матеріалів є титан та його сплави, адже він має невелику питому вагу, високу питому міцність, корозійну стійкість та інш. До того ж Україна має власне виробництво титану та його сплавів.

Основну кількість деталей виготовляють із литого титану з подальшою механічною обробкою. Такі вироби мають високу точність та добрі механічні властивості. До основних недоліків слід віднести великі витрати в процесі плавлення за рахунок високої температури та низького коефіцієнту використання металу, який може доходити до 30% в залежності від ступеня складності деталей. Тобто до 70% залишається у відходах. Також титан у порівнянні з іншими металами погано обробляється різанням, а стружку важко переробити. Застосування порошкової металургії дозволяє підвищити коефіцієнт використання металу до 95-97%. та зменшити витрати у 2-5 разів, що в свою чергу впливає на собівартість і економічну ефективність виробництва. Основними напрямками досліджень титанових порошкових сплавів є застосування різноманітних методів формування та складу з метою зниження пористості та підвищення механічних і експлуатаційних властивостей.

РОЗДІЛ 1

ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З ТИТАНУ

1.1 Титан та його властивості

Титан за наявністю в земній корі поступається лише алюмінію, залізу і магнію (рис. 1.1). Він має питому вагу $4,5 \text{ г/см}^3$ та достань високу температуру плавлення $\sim 1665^\circ\text{C}$, характеризується добрим поєднанням міцності і пластичності. Наприклад, технічно чистий титан марки ВТ1-0 має: $\sigma_{\text{в}} = 375\text{--}540 \text{ МПа}$, $\delta = 20 \%$ [1].



Рисунок 1.1 - Брусок кристалічного титану

При температурах вище 500°C титан та його сплави легко окислюються і поглинають водень, який в свою чергу викликає окрихчення. Також значний вплив мають кисень, вуглець та азот, які утворюють з титаном тверді розчини втілення і проміжні фази, підвищуючи міцність, але знижуючи пластичність. Тому вміст цих домішок обмежують майже до тисячної частки відсотку. Наприклад, водень у технічному титані знаходиться в межах $0,008 - 0,012\%$. Щоб уникнути газонасичення титан виплавляють у вакуумі або у атмосфері захисних газів [2].

Стійкість титану до корозії у деяких кислотах, в морській та прісній воді зумовлена утворенням на поверхні стійкої оксидної плівки TiO_2 . Технічний титан

дуже стійкий в більшості органічних кислот, в розчині азотної кислоти, у вологому хлорі, не піддається корозії на повітрі, мало змінює свої механічні властивості при нагріванні до 400 °С. При більш високій температурі він починає поглинати кисень і його механічні властивості поступово погіршуються і при температурі вище 540 °С - стає крихким. Погано протистоїть титан вплив ортофосфатна, плавиковою, мурашиної і щавлевої кислот, сумішей фтористих і хлористих солей і інших середовищ, що руйнують його оксидну плівку [2-4].

Титан легко піддається обробці тиском в гарячому стані: прокатка, кування, штампування; має добру зварюваність при контактному та аргнодуговому зварюванні.

До недоліків титану відносять погана обробка різанням за рахунок схильності до налипання та низької теплопровідності [1].

1.2 Методи отримання титанових сплавів

Процес отримання металевого титану відбувається в декілька стадій:

- видобуток руди;
- її збагачення та отримання концентрату;
- відновлення чистого металевого титану.

Видобудок руди.

Україна має замкнутий цикл титанового виробництва, але на світовому ринку виступає в якості постачальника сировини. За рік виробляється до 1 млн титановмісних концентратів, основна частина яких та напівфабрикати йдуть на експорт (титановий шлак, губка, диоксид титану). Причина – в держава немає достатніх потужностей в титановому виробництві, немає значного внутрішнього споживання [5].

Основні виробники титановмісних руд та концентратів – це Вольногірський горно-металургійний та Іршанський горно-збагачувальний комбінати, ТОВ ПКФ

«Велта», Міждуреченський та Демури́нський горно-збагачувальні комбінати та декілька інших.

До основних внутрішніх споживачів титанової сировини можна віднести Запорізький титано-магнієвий комбінат (виробництво титанової губки, злитків та сплавів), «Сумхімпром» (виробництво діоксиду титану), «Плазматек» (виробництво зварювальних електродів), невеликі компанії: «Антарес», науково-виробничий центр «Титан» при Інституті електрозварювання ім. Патона та інші [5].

Отримання концентрату.

Для отримання титану використовують лише ті руди, які містять його в достатній кількості, а процес вилучення металу не повинен мати надмірних труднощів. Серед мінералів, які придатні для промислового виробництва, є наступні:

- ільменіт – містить до 36% Ti;
- рутіл – найбільш багатий титаном мінерал (до 60%);
- титаномагнетити та інші .

З метою отримання концентрата, руда піддається спочатку збагаченню. Спосіб збагачення залежить від природи, складу та структури титановмісного мінерала. Для титаномагнетитів застосовується або магнітна сепарація, або металургійний перерозподіл. Як що руда уявляє собою суміш ільменіту з магнітним залізняком, то використовується магнітне поле, що дозволяє вилучити із концентрата оксид заліза Fe_3O_4 . Також може використовуватися дробне хлорування. Флотація та мокре збагачення за питомою вагою застосовують для ільменіта. Комплексні титанові руди важче всього піддаються збагаченню. Для отримання TiO_2 добре зарекомендував себе метод сірчаноокислого розкладення. Але найчастіше в'ього використовують чотири хлористий титан $TiCl_4$, отримати який можна, наприклад, хлоруванням TiO_2 . Після цього відбувається очистка від домішок $SiCl_4$, $FeCl_3$, HCl , Cl та інших [6].

Виробництво металевого титану.

Після виділення із руд титанових концентратів необхідно отримати чистий метал. Для цього використовують реакцію відновлення, з виключенням доступу до реакційного середовища N і C, які мають велику спорідненість до розплавленого титану.

В якості вихідної сировини найбільше розповсюдження отримав $TiCl_4$, так як містить найменшу кількість шкідливих домішок, а процес його перероблення має оптимальні техніко-економічні показники. Основним відновником Ti з $TiCl_4$ є Mg. Для проведення необхідних реакцій використовують спеціальні реактори з аргоном. Відновлення титану ведеться при температурі не більше $800^\circ C$. В результаті взаємодії $TiCl_4$ з Mg виділяється $MgCl_2$ і чистий метал у вигляді частинок, які під дією температури спікаються в пухку масу. Для розділення $MgCl_2$ та титану виконується обробка в вакуумі при $925^\circ C$, в результаті Mg та $MgCl_2$ випаровуються і залишається чиста титанова губка [6].

Титан, отриманий магнійтермічним способом, містить до 0,2% O и до 0,1% N. Цей метод є найбільш поширеним.

Металевий титан виробляється у вигляді порошку або губки і є проміжним в технологічному ланцюгу виготовлення виробів із титану. Для надання матеріалу достатньої пластичності та щільності виконується його перероблення.

До основних способів отримання компактного титану відносяться: плавка; порошкова металургія; прокатка [6].

Плавка металу виконується в індукційних або дугових електричних пічах в захисному середовищі – аргоні або в вакуумі. Перевагою є те, що цим методом можна отримати заготовки дуже великих розмірів.

При пресуванні можна отримати вироби невеликих розмірів, але відходи при цьому методі складають лише 25% маси готового виробу. Застосовують 2 операції: пресування та спікання, регламентуючи тиск пресування та температуру і довготривалість процесу [6].

1.3 Класифікація титанових сплавів та області застосування

Додавання до титану легуючих елементів дозволяє покращити експлуатаційні та механічні властивості, змінивши структуру матеріалу.

Для промислового використання випускають дві марки титану: VT1-00 та VT1-0, які відрізняються вмістом домішок (кисню, азоту, вуглецю, заліза, кремнію тощо). Титан VT1-00 містить менше домішок, менш міцний і пластичний. Завдяки високій технологічній пластичності із цих сплавів можна виготовити навіть фольгу. Основний недолік сплаву — висока схильність до водневої крихкості, в зв'язку з чим вміст водню в VT1-00 не повинен перевищувати 0,008%, а в VT1-0 не повинен бути вище за 0,01%. Технічний титан застосовується в слабонавантажених деталях складної конфігурації, що працюють при температурі від -253°C до 150°C [7]. При нагріванні на повітрі на поверхні заготовок утворюється окалина, яка відшаровується при температурі вище 900°C . Одночасно відбувається дифузія кисню та азоту вглибину металу, на поверхні утворюється газонасичений шар з високою твердістю [1].

Легування титану алюмінієм (стабілізатор α -титану) збільшує температуру алотропного перетворення, поліпшує механічні властивості, підвищує корозійну стійкість у забрудненому газом середовищі з температурою до 1090°C (наприклад, сплав VT-5 містить 4,3–6,2% алюмінію і при нагріванні до 650°C зберігає високу міцність) [3]. Тому алюміній є основним легуючим елементом литих і порошкових титанових сплавів. Зі збільшенням вмісту алюмінію у титанових сплавах міцність зростає, пластичність знижується. Значне падіння пластичності спостерігається у сплавах з вмістом алюмінію 6-8%, сплави з 10% алюмінію руйнуються крихко [8].

До елементів, що знижують температуру алотропного перетворення титану (β -стабілізатори), відносяться молібден, ванадій, хром, марганець, залізо та деякі інші метали. Міцність сплаву змішаної структури ($\alpha + \beta$) майже вдвічі перевищує міцність чистого титану. Однак збільшення міцності спостерігається лише при

температурах нижче 430° С. Більшість із цих сплавів мають хорошу пластичність, тому вони легше піддаються куванню, штампуванню ніж однофазні титанові сплави, але при зварюванні такі сплави втрачають пластичність та з'єднання стає крихким. Наприклад, сплав ВТЗ-1 - найбільш технологічний, найдешевший і тому є найбільш поширеним зі сплавів змішаної структури. Він містить 5,5-7% алюмінію, 0,8-2,3% хрому, 2-3% молібдену та 0,15-0,4% кремнію. Цей сплав термостабільний і не стає крихким при тривалому нагріванні до температури 400°С (до 10000 годин) і короткочасній експлуатації (до 450°С) [3].

У промисловості титанові сплави застосовуються найчастіше у вигляді α -твердофазної структури або змішаної структури ($\alpha + \beta$)-твердого розчину.

За технологією виготовлення титанові сплави класифікуються на ливарні та сплави, які піддаються деформації; по рівню механічних властивостей – на сплави з низької міцності та підвищеної пластичності, середньої міцності, високоміцні; за умовами застосування – на хладостійкі, жароміцні, корозійностійкі. За можливістю зміцнюватися термообробкою – на сплави, що зміцнюються та які не зміцнюються [1].

Титанові сплави, що піддаються деформації.

Сплави з границею міцності в 300 - 700 МПа відносяться до групи невисокою міцності та підвищеної пластичності. Марки ВТ1-00, ВТ1-0 (технічний титан) і сплави ОТ4- 0, ОТ4-1 (система Ti—Al—Mn), АТЗ (система Ti—Al з невеликими додат невеликими добавками Cr, Fe, Si, В), міцність яких вище, ніж в чистого титану завдяки домішкам або незначному легуванню. Відрізняються високою пластичністю як в гарячому, так і холодному стані, тому з них отримують фольгу, стрічки, листи, плити, штамповки, профілі, труби та інш. (рис. 1.2). Мають добру зварюваність. Корозійна стійкість дуже висока в багатьох середовищах (морська вода, хлориди, лугах, органічних кислотах), окрім розчинів HF, H₂SO₄, HCl. В якості конструкційного матеріала широко застосовуються для виготовлення полу фабрикатів, конструкцій, деталей в авіа- та космічній техніці, в хімічному машинобудуванні, криогенній техніці (висока

ударна в'язкість зберігається до -253°C), або в узлах та конструкціях, що працюють при температурах $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$ (рис. 1.3) [1, 6].



Рисунок 1.2 – Вироби з титану



Рисунок 1.3 – Титанові сплави в авіаційній техніці

Титанові сплави з середньою міцністю мають границю міцності на рівні $750\text{--}1000\text{ МПа}$ (BT3-1, OT4, BT5, BT5-1), зберігають задовільну пластичність в холодному стані. На цю категорію приходиться основний об'єм виробництва

напівфабрикатів для машинобудування. Сплав ВТ6С широко застосовується для виготовлення посудів та ємностей високого тиску (рис. 1.4). Деталі та вузли зі сплавів ОТ4, ВТ5 можуть довготривало працювати при температурах до 400°C і короткочасно - до 750°C. Сплави ВТ5-1, ОТ4, ВТ6С також можуть використовуватися в холодильній та криогенній техніці [1].



Рисунок 1.4 – Приклад виробів з титанового сплаву ВТ6С

До групи високоміцних відносяться титанові сплави з $\sigma_B \geq 1000$ МПа (($\alpha + \beta$) – сплави марок ВТ6, ВТ14, ВТ3-1, ВТ22). Висока міцність досягається за рахунок термооброблення (гартування + старіння), при цьому зберігається достатня технологічна пластичність в гарячому стані. Мають високі корозійностійкі властивості в багатьох середовищах. З цих сплавів отримують деталі та вузли відповідального призначення: зварні конструкції, турбіни, важко навантажені деталі. Можуть довготривло працювати при температурах до 400°C і короткочасно до 750°C. Особливість – підвищена чутливість до концентраторів напруження [1, 6].

Ливарні титанові сплави.

В залежності від мікроструктури мають 5 груп (α – сплави, псевдо α – сплави, $\alpha + \beta$ сплави, псевдо β – сплави, β – сплави). До складу входять алюміній,

ванадій, молібден, кремній, хром, цирконій та інші. За міцністю не поступаються сталям при низькій щільності, мають високу хімічну стійкість до 500°C, високу корозійну стійкість у вологому повітрі, морській воді, азотній і хлорній кислотах. Завдяки таким властивостям ливарні титанові сплави інтенсивно втілюються у аві-, ракето- і суднобудуванні. В довідниках наводяться склади 8 ливарних сплавів – VT1Л, VT5Л, VT20Л, VT3-1Л, VT6Л, VT9Л, VT14Л, VT22Л. Їм притаманні добра рідиноплинність (460–520 мм), невелика лінійна (0,8–1,2 %) та об'ємна (2,4–3,2%) усадка. Найбільш широко у виробництві використовується сплав VT3-1Л (рис.1.5) [1, 6]. Міцність титанових сплавів складає $\sigma_b = 34 \dots 93 \text{ кг/мм}^2$, пластичність $\delta = 4 \text{--} 10\%$.

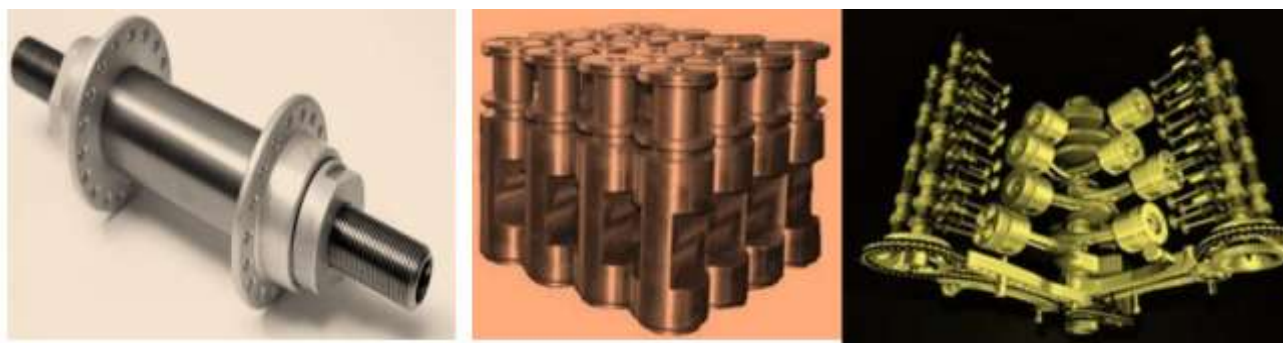


Рисунок 1.5 – Деталі зі сплаву VT3-1Л

Головним недоліком ливарних титанових сплавів є висока температура плавлення (до 1665°C) та активна взаємодія (при плавленні) зі всіма газами та вогнетривкими матеріалами. Тому застосовуються спеціальні види плавлення (вакуумна, в атмосфері нейтральних газів) та матеріали для ливарних форм. Це, в свою чергу, дуже здорожує технологічні процеси лиття.

Для отримання достатньо проплавленого металу отриманий зливоч переплавляють вторий раз, використовуючи його в якості електроду. Виливки отримують масой від 500 кг до 4 -5 т, діаметром 800—850 мм [9].

Втомні характеристики виливків значно нижчі, ніж деформованого металу, і залежать від розміру зерна, наявності мікроскопічної пористості, якої не можливо уникнути. Але ливарні сплави мають високу ударну в'язкість [10].

Застосування титанових сплавів.

Титанові виливки використовуються в двигунобудуванні для деталей типу корпусів, крильчаток, різних кронштейнів, дрібних арматурних деталей. Приклад складного за конфігурацією виливка наведено на рис. 1.6 [10].

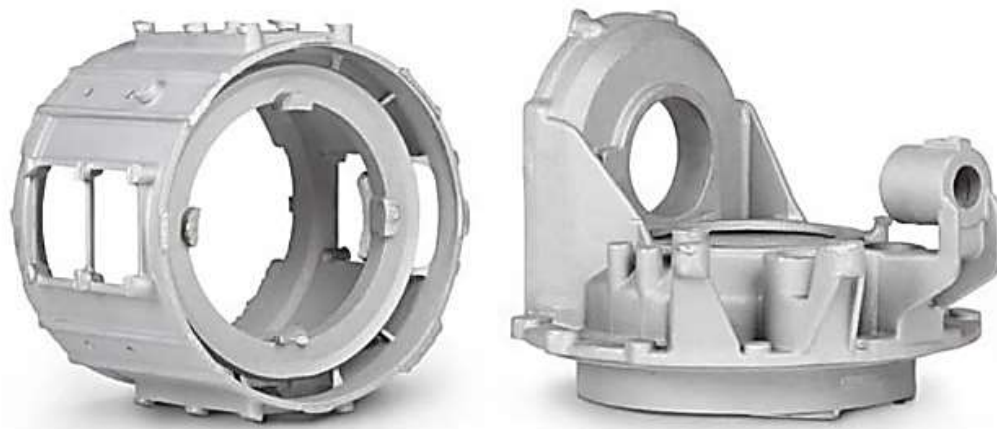


Рисунок 1.6 – Виливки з титанових сплавів для авіації

В суднобудівній промисловості з титану виготовляють механічні деталі для суден, такі як гвинти, деталі насосів та труб. Найбільш широко використовуються сплави в суднобудуванні - VT23, VT23M, VT14, VT5Л та VT3-1Л [11]. Застосування титанових виливок в цій галузі економічно вигідно – підвищені витрати на виготовлення окупаються за рахунок високого терміна служби деталей. Приклади виробів наведено на рис. 1.7 [10].



Рисунок 1.7 – Виливок з титанового сплаву для судобудування.

Застосування титану в військово-морській справі включає виготовлення вихлопних глушників для дизельних двигунів підводних човнів, дисків вимірювальних приладів, тонкостінних труб для конденсаторів і теплообмінників (дозволяє знизити їх масу в 2 рази і різко підвищити їх стійкість проти корозійного і ерозійного зносу). Титан забезпечує кращу стійкість дисків вимірювальних приладів, що працюють в умовах зіткнення з солоною водою. Титан може знайти застосування і для виробництва таких деталей, як клапани, пропелери, деталі турбін і інших.

Основною номенклатурою титанових виликів для хімічної промисловості, гідрометалургії та інших галузей машинобудування, які мають справу з агресивними середовищами і реагентами є арматура, корпуси та крильчатки відцентрових насосів для перекачування хімічно активних рідин та газів (рис. 1.8) [10].



Рисунок 1.8 – Виливки з титанових сплавів для хімічної промисловості [10].

Для високотемпературних процесів хімічної промисловості використовуються апарати, виготовлені з титанових сплавів BT5-1 і AT3. Завдяки

високій корозійній стійкості титану в агресивному середовищі, збільшується термін служби устаткування і міжремонтні періоди хімічних апаратів. Основна кількість титану і його сплавів в хімічній промисловості витрачається на виготовлення теплообмінної і випарної апаратури (близько 30 %) і різного виду комунікацій (близько 30 %). Інша кількість титану витрачається на реактори, скрубери, сушарки, ємнісну апаратуру, колони, насоси, інші.

У медицині зі сплавів на основі титану виробляють: 100% металевих дентальних імплантатів, близько 40 пластин і гвинтів для остеосінтеза, до 80% ендопротезів тазостегнових і до 60% колінних суглобів (за винятком пари тертя) (рис. 1.9) [12,13].



Рисунок 1.9 – Титановий протез тазостегнового суглаву [10].

В автомобілебудуванні ефективне застосування титанових сплавів відзначається у вузлах ходової частини (кривошипно-шатунний механізм, колінчастий вал, клапани) і несучих конструкцій (рама, вузли підвіски). Відповідно [13], завдяки використанню титанових шатунів для автомобілів з ОТ4-1 із об'ємом циліндрів 350 см^3 і 500 см^3 дозволяє збільшити потужність двигуна на 12 к.с., що призводить до економії паливномастильних матеріалів. Завдяки високим механічним властивостям титан та його сплави застосовуються як конструкційні матеріали в енергетичному машинобудуванні для

високонавантажених деталей: великогабаритних (довжиною до 1500 мм) лопаток тихохідних парових турбін на атомних електростанціях, для поковок бандажних кілець роторів турбогенераторів підвищеної потужності, для дисків великого діаметру і т.д. Титанові сплави використовуються також при виготовленні зварних трубопроводів парових котлів, атомних і опріснювальних установок.

Мала питома вага і висока міцність (особливо при підвищених температурах) титану і його сплавів роблять їх дуже цінними в області літакобудування та виробництва авіаційних двигунів. Загальне зниження ваги з підвищенням показників при підвищених температурах дозволяє збільшити корисне навантаження, дальність дії і маневреність літаків. З розвитком Boeing 787 попит на титанові сплави в авіабудуванні зріс завдяки його сумісності із графітовими волокнами. Титанова матриця армована графітом є основним конструкційним матеріалом літака. Особливо важливе значення має використання титану у виготовленні шасі на Airbus A-380 та Boeing 787, завдяки стійкості до пошкоджень [14]. Згідно з дослідженням [15] при виробництві літаків у конструкції планера Boeing спостерігалася динаміка росту використання титану з 1% до більше 20%.

У нафто- і газобурильній областях серйозне значення має боротьба з корозією, тому застосування титану дозволить рідше замінювати корродуючі штанги обладнання. У електропромисловості титан можна застосувати для бронювання кабелів завдяки гарній питомій міцності, високому електричному опору і немагнітним властивостям. [16].

1.4 Порошковий титан

В останні роки все більше деталей приладів та агрегатів виготовляють в виключно механічною обробкою заготовок, отриманих з литого титану та які додатково пройшли відповідну обробку тиском. Такий метод дозволяє покращити

ступінь точності, однак він має ряд недоліків, основним з яких є низький коефіцієнт використання металу 18-25%. Таким чином, при механічній обробці в стружку йде від 75 до 82 % металу [17]. Також до недоліків слід віднести високу вартість обробки та безперервне накопичення відходів.

Ці обставини стимулюють розробку способів виробництва напівфабрикатів або заготовок, розміри яких були б близькі до чистових розмірів деталей. Одним з них є технологія порошкової металургії. З наявних різноманітних способів обробки металів порошкова металургія займає особливе місце, тому що дозволяє отримувати не тільки вироби різних форм і призначень, а й створювати принципово нові матеріали, які іншим шляхом одержати або дуже важко або неможливо, дозволяє виготовляти спечені заготовки з мінімальними припусками під механічну обробку або оброблення тиском. Виготовлення напівфабрикатів і готових деталей з порошків титану і його сплавів дозволяє різко скоротити обсяг відходів і підвищити коефіцієнт використання матеріалу.

При виготовленні деталей методами порошкової металургії коефіцієнт використання металу складає 0,95-0,97, витрати праці знижуються в 2-5 разів, що підтверджується рядом робіт [18, 19]. А для кольорових сплавів ці переваги стають особливо вагомими через дефіцитності і високу вартість металу. Порошкова металургія також забезпечує можливість утилізації неокислених відходів простими і дешевими способами, найбільш перспективним з яких є гідрування відходів. В свою чергу застосування порошкової металургії для титанових сплавів забезпечує отримання дрібнозернистої, виключно однорідної макро- і мікроструктури і рівномірного хімічного складу.

Основна технологічна схема отримання виробів із порошкового титану складається з виготовлення порошків, їх підготовки до пресування, формування, спікання заготовки та додаткової обробка спеченого виробу - механічної обробки, просочення.

Розрізняють металургійні способи отримання порошків з титановмістної сировини і фізико-механічні способи переробки компактного металевого титану (або його відходів) в порошки. Широко застосовується комбінація

металотермічного способу з наступним подрібненням губчатого титану до порошків.

З наведених вище способів найбільшого поширення набула технологія магнієтермічного відновлення. З рутилових, ільменітових та інших руд отримують оксид титану TiO_2 , обробляють титанові шлаки хлором та отримують $TiCl_4$. Останнім етапом є відновлення титану металевим магнієм у реторті з нержавіючої сталі, заповненій аргоном. У реторті після завершення процесу знаходяться частинки відновленого титану, які спікаються в титанову губку, а також залишки магнію та його хлориду. Після цього реторту охолоджують і вибирають із неї титанову губку, що містить до 2 % шкідливих домішок (кисень, водень, хлор, кремній, азот та ін.) і тому, може піддаватися рафінуванню за допомогою технології вакуумно-дугових і електронно-променевих переплавок для отримання чистого титану $Ti = 99,95$ % або подрібнюється з метою отримання порошків для виготовлення виробів методом порошкової металургії.

Наявні стандарти виділяють 4 типи титанових порошків [20]:

- титан пористий, порошок - ТПП (ТУ1791-449-05785388-2010);
- порошок титановий (ТУ 14-22-57-92);
- порошок титановий хімічний (ТУ 48-10-78-83 з 7 змінами);
- порошок титановий електролітичний (ТУ 48-10-22-85).

В даний більшість вироблених титанових порошків відноситься до 1-го типу - «титан пористий, порошок» (ТПП). Такий порошок отримують подрібненням титанової губки. Залежно від властивостей виготовляють порошки 8-ми марок: ТПП-1 - ТПП-8. Форма частинок порошку - луската, округла, голкоподібний. Для порошку з округлою (овальною) формою частинок до позначення марки порошку додається буква «А», наприклад ТПП-3А. Діапазон розмірності порошків становить від $-5 + 0$ мм (ТПП-1) до $-0,16 + 0$ мм (ТПП-8) [20].

Підготовка порошків до пресування може включати розсівання на фракції за величиною частинок, іноді грануляцію [21].

Приготування шихти пов'язано з дозуванням порошків заданого хімічного і гранулометричного складів з наступним змішуванням. Склад суміші впливає на вихідні властивості готового виробу.

У роботі [22] показано що керувати кількістю, формою і розміром пор можна керувати за рахунок додавання до суміші порошків гідрованого титану. Наприклад для суміші порошків ПТ5-1 з 5 ... 15% TiH_2 встановлено зниження вмісту пор з 12% до 6% при збільшенні до 65% кількості сфероїдизованих пор. Завдяки зменшенню кількості пор в 2 рази, а також їх сфероїдизації дозволяє підвищити міцність ВТ1-0 на 25%.

Наступний процес це пресування. Фактором, що буде впливати на якість отриманого виробу буде тиск пресування. У роботі [23] встановлена закономірність утворення пор по тілу пресовки, а також характер утворення пор в залежності від прикладеного тиску. Мінімальна пористість 4,5% компакту діаметром 40 мм і висотою 70 мм після одностороннього пресування при тиску 700 МПа та спікання при температурі 1250 ° С протягом 2,5 годин спостерігалась у верхній центральній частині заготовки. Для пресовок, які ущільнювались при тиску 620...640 МПа, спікання призводило до зменшення пористості та збільшення видимої щільності. При більш високих тисках пресування, пористість зростала в процесі спікання, і спостерігалось розміцнення. Також спостерігалось зменшення діаметру та висоти під час процесу спікання. За більш високого тиску пресування діаметр і висота компакту збільшувався. Ця закономірність пояснюється наявністю газу в порах та виділенням газу з поверхні під час спікання. При тиску нижче 620 ... 640 МПа у пресовці утворювались переважно відкриті, взаємопов'язані пори. Збільшення тиску приводило до їх руйнування.

Зменшити нерівномірність розподілу щільності дозволяє використання мастила при пресуванні, зменшення відношення висоти брикету до його діаметру, а також використання методу двостороннього пресування. Наявність тертя порошку об стінки прес-форми призводить до втрати тиску пресування, яке може досягати 30 — 40% від загального зусилля пресування і залежить від властивостей порошків, висоти до діаметру зразків, стану поверхні порожнини прес-форми.

Запропоновані у роботі [24] мастила для пресування титанового порошку (зі складом: графіт, полівініловий спирт або олеїнова кислота, ацетон), покращують стисливість порошкового матеріалу і зменшують силу пресування, що призводить до продовження терміну служби інструменту.

Одним з найважливіших етапів отримання компактних виробів є спікання. Для активації процесу спікання титанових порошоків часто замість порошку у чистому вигляді застосовують гідрид титану. Наприклад у роботі [25, 26] зазначено, що одним із способів активації процесів Спікання, а саме процеси ущільнення є застосування порошку TiH_2 в якості вихідного матеріалу замість порошку титану. Активація відбувається завдяки дисоціації гідриду, яка призводить до збільшення питомої поверхні і утворенням дефектів кристалічної структури, що позитивно впливає на прискорення дифузійного масопереносу; а також відновленню оксидів воднем, що виходить на поверхню частинок титану.

З порошкового титану виготовляють шестерні, компресорні лопатки, ковпачки, заглушки, диски, втулки, зірочки для ланцюгових передач та інше. У переважній кількості титан використовують в авіаційній промисловості. Прикладом можуть слугувати лопатки газових турбін, отримані гідростатичним пресуванням порошку чистого титану, спіканням при $1400^\circ C$ у вакуумі з наступним штампуванням у відкритих штампах [12].

Також спечені вироби з порошкового титану і його сплавів застосовуються для виготовлення деталей корпусу кабіни, фюзеляжу, консолей та інших вузлів літальних апаратів. Висока корозійна стійкість дає можливість застосовувати ці матеріали в суднобудуванні для вентилів, морських водопроводів, палубного оснащення та інших [12]. В автомобільній промисловості можлива заміна ряду деталей з традиційних матеріалів деталями з більш прогресивних матеріалів, наприклад, при виготовленні шатунів, шестерень, фільтрів, підшипників, кулачків [12]. Так згідно даних [18], заміна сталевих шатунів на шатуни з електролітичного титанового порошку з добавками 1,5-2% Mo і 1,0-2,0% Al дозволяє знизити динамічні навантаження на підшипники колінчастого вала, оскільки вони мають меншу щільність, тим самим збільшуючи потужність двигуна. Застосування

пористих титанових катодних пластин збільшує продуктивність електророзрядних насосів надвисокого вакууму і гетеро-іонних насосів. Високоєфективною є заміна гостродефіцитного танталу титановим порошком в радіодеталєбудуванні, наприклад, для металокерамічних анодів електролітичних конденсаторів [19]. Титан і його сплави є досить поширеним конструкційним матеріалом також і в хімічній промисловості. Методи порошкової металургії дозволяють отримувати титанові фільтри, труби, втулки, кільця, насадки, арматуру для нафтохімічної і хімічної промисловості. Велика увага приділяється виготовленню підшипників ковзання (кілець, втулок) із спеченого титану для роботи в 60% -вої азотній кислоті [18].

На механічні властивості титану значно впливають домішки, які він містить. Чистий титан має невелику твердість у межі HB 70, технічний титан твердий і крихкий — HB 180–280.

1.5 Мета і задачі роботи

З метою дослідження впливу гранулометричного складу на фізико-механічні та експлуатаційні властивості титану BT1-0 потрібно було зробити:

- виконати літературний огляд;
- методом пресування отримати зразки з порошкового матеріалу, провести спікання;
- виготовити зразки для металографічного аналізу, механічних та службових властивостей;
- дослідити структуру та провести випробування;
- одержати залежності щільності, твердості та корозійної стійкості від фракції порошку;
- зробити висновки за результатами роботи.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розвиток технологій виробництва заготовок йде в напрямку підвищення коефіцієнта використання металу при збереженні або покращенні якості готової продукції. Порошкові технології відповідають вимогам ресурсозбереження, забезпечивши можливість створення матеріалів, що за фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками не поступаються матеріалам, виготовленим за традиційними технологіями. Це відноситься і до матеріалів на основі титану.

Суттєвими факторами при виробництві порошкових деталей є: морфологія та розмір частинок вихідного порошку, що в свою чергу вплине на вибір тиску пресування, пористість та механічні і експлуатаційні властивості виробів; та контроль домішок. Наприклад, використання губчатого порошку титану, частинки якого мають несферичну поверхню, мають більш високі біохімічні властивості. Для виробів хімічної галузі або машинобудування застосовують спечені титанові сплави чисті за домішками (особливо кисню і азоту) порошки, що гарантує добру спікаємість заготовок і однорідність їх за хімічним складом.

2.1 Виготовлення дослідницьких зразків

В якості вихідної шихти взяли промисловий порошок титану марки ПТ різного фракційного складу, який за хімічним складом наближався до марки ВТ1-0 (табл. 2.1).

Нижня границя розміру порошинок становила 0,1 мм, враховуючи, що при менших розмірах кількість домішок в них виходить за рамки допустимих значень для технічного титану марки ВТ1-0 (ГОСТ 19807- 91). Верхню межу розміру порошку взяли 0,8 мм, тому що використання порошку з більшою фракцією дуже збільшує пористість одержуваних заготовок, що призводить до

значного зниження їх механічних властивостей та необхідності підвищення тиску пресування [27].

Для формування зразків застосували метод одностороннього пресування в сталевій прес-формі на гідравлічному пресі ДБ2432А, тиск пресування - 700МПа. Такий показник тиску пресування є оптимальним для обраних розмірів порошку. При нижчих значеннях тиску заготовки не мали достатньої міцності і могло відбуватися руйнування кромки. Збільшення тиску було недоцільним та не призводило до збільшення щільності зразку, але збільшувало навантаження на обладнання та інструмент

Таблиця 2.1 - Хімічний склад досліджуваних зразків у порівнянні з литим сплавом ВТ1-0

Матеріал	Ti	Si	Fe	O	H	N	C	Інших домішки
Спечений зразок	основа	$\leq 0,05$	$\leq 0,22$	$\leq 0,20$	$\leq 0,009$	$\leq 0,033$	$\leq 0,06$	$\leq 0,19$
ВТ1-0 ГОСТ 19807-91	основа	$\leq 0,10$	$\leq 0,25$	$\leq 0,20$	$\leq 0,010$	$\leq 0,04$	$\leq 0,07$	$\leq 0,30$

Вибрані фракції: 100, 160, 200, 315, 630, 800 мкм, виготовлено 6 зразків для подальших досліджень, форма та розміри яких наведено на рис. 2.1.

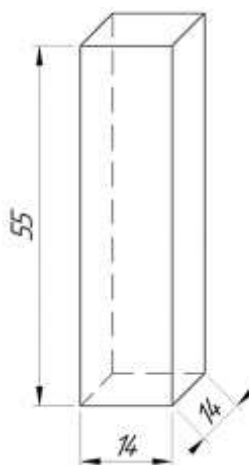


Рисунок 2.1 - Ескіз заготовки після пресування.

Подальше спікання зразків відбувалося у вакуумній печі СНВЕ-1.3.1/16 (вакуум при 13,3Па), температура нагрівання сягала $1250\pm 10^{\circ}\text{C}$, витримка - 180 хв.

Наприкінці застосовували фрезерну обробку, кожну з заготовок розрізали на 4 зразки для подальших досліджень.

2.2 Металографічний аналіз та визначення властивостей

Макроструктуру сплавів отримали при використанні звичайної фотокамери. Мікроструктуру титанових зразків досліджували за допомогою оптичного мікроскопу Sigeta MM 700 (рис. 2.2) при 100 та 400 кратних збільшеннях. Зразки попередньо піддавалися шліфуванню, поліруванню та травленню (склад реактиву: HF 10мл, HNO₃ 25 мл, гліцерин – 65 мл).



Рисунок 2.2 - Оптичний мікроскоп Sigeta MM 700.

Для визначення щільності спечених використали об'ємно-ваговий метод. За допомогою штангенциркуля були обчислені лінійні розміри зразків з точністю до 0,01 мм і розраховані їх об'єми. Зважування проводили на електронних вагах LUX Pocket Scale MH-200 з точністю до 0,01 г.

Щільність розраховували за формулою:

$$\Pi = \frac{\rho_k - \rho_z}{\rho_k} * 100\%, [\%] \quad (2.1)$$

де ρ_k - щільність безпористого титану (4,5 г/см³);

ρ_z – щільність спеченого зразку, г/см³.

За показник брали середню щільність 3 зразків для кожної фракції.

Вимірювання твердості проводили за методом Роквелла відповідно до ГОСТ 9013-59 за шкалою HRB [28]. В якості показника визначали середнє значення 5 вимірювань для кожної фракції.

2.3 Корозійні випробування

Перед початком корозійних випробувань зразки зважили на електронних вагах з точністю до 0,0001 г (рис. 2.3). Лінійні розміри зразків з точністю до 0,01 мм визначили за допомогою штангенциркуля, після чого було обчислено сумарну площу поверхні, яка кородувала, для кожного зразку.

Перед зануренням у розчин кислоти зразки знежирили спиртом та просушили. В якості розчину для випробувань взяли 20% розчин HCl. Для пришвидшення корозійного процесу термостійкий стакан зі зразками та розчином (рис. 2.4) повільно нагрівали на електричній печі First FA-5082-2 (рис. 2.5), що була прикрита азбестом (для більш рівномірного розподілу теплоти), протягом 10 хвилин до температури кипіння кислоти.

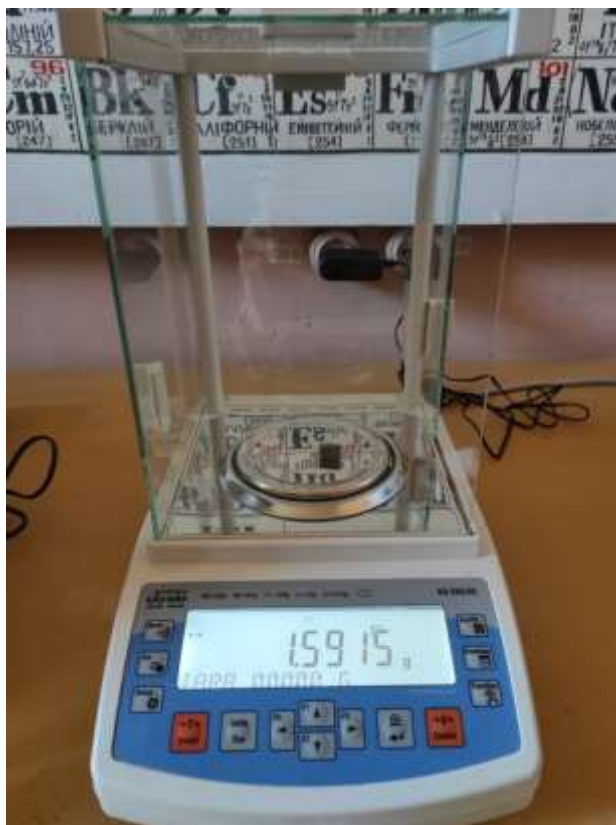


Рисунок 2.3 – Електроні ваги.



Рисунок 2.4 – Зразки, підготовлені до корозійних виробувань



Рисунок 2.5 – Електрична піч First FA-5082-2.

Потім процес травлення тривав ще 10 хвилин від початку закіпання розчину. Після чого зразки промили у воді, просушили та знову зважили.

Швидкість корозії титанового матеріалу визначалась за допомогою гравіметричного метода, а саме за втратою маси металу на одиницю площі поверхні за одиницю часу:

$$K_m = \frac{m_{\text{до}} - m_{\text{після}}}{S \cdot \tau}, \text{ [г/ м}^2 \cdot \text{год]} \quad (2.2)$$

де K_m – ваговий показник швидкості;

$m_{\text{до}}$ – маса зразка до випробування, г;

$m_{\text{після}}$ – маса зразка після випробування, г;

S – площа поверхні зразка, м²;

t – час випробування, год.

Глибинний показник корозії визначали за формулою:

$$\Pi = 8,76 \frac{K_m}{\rho}, \text{ [мм/рік]} \quad (2.3)$$

де ρ – щільність сплаву, г/см³.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT1-0

3.1 Дослідження мікроструктури титанового сплаву

Структури зразків з порошку титану з різним фракційним складом досліджували на спресованих зразках, які піддавали спіканню та травленню. Також були розраховані щільність та пористість зразків. Значення фракцій порошку і розрахунки наведено в табл. 3.1. Макроструктура сплавів представлена на рис. 3.1, мікроструктура – на рис. 3.2.

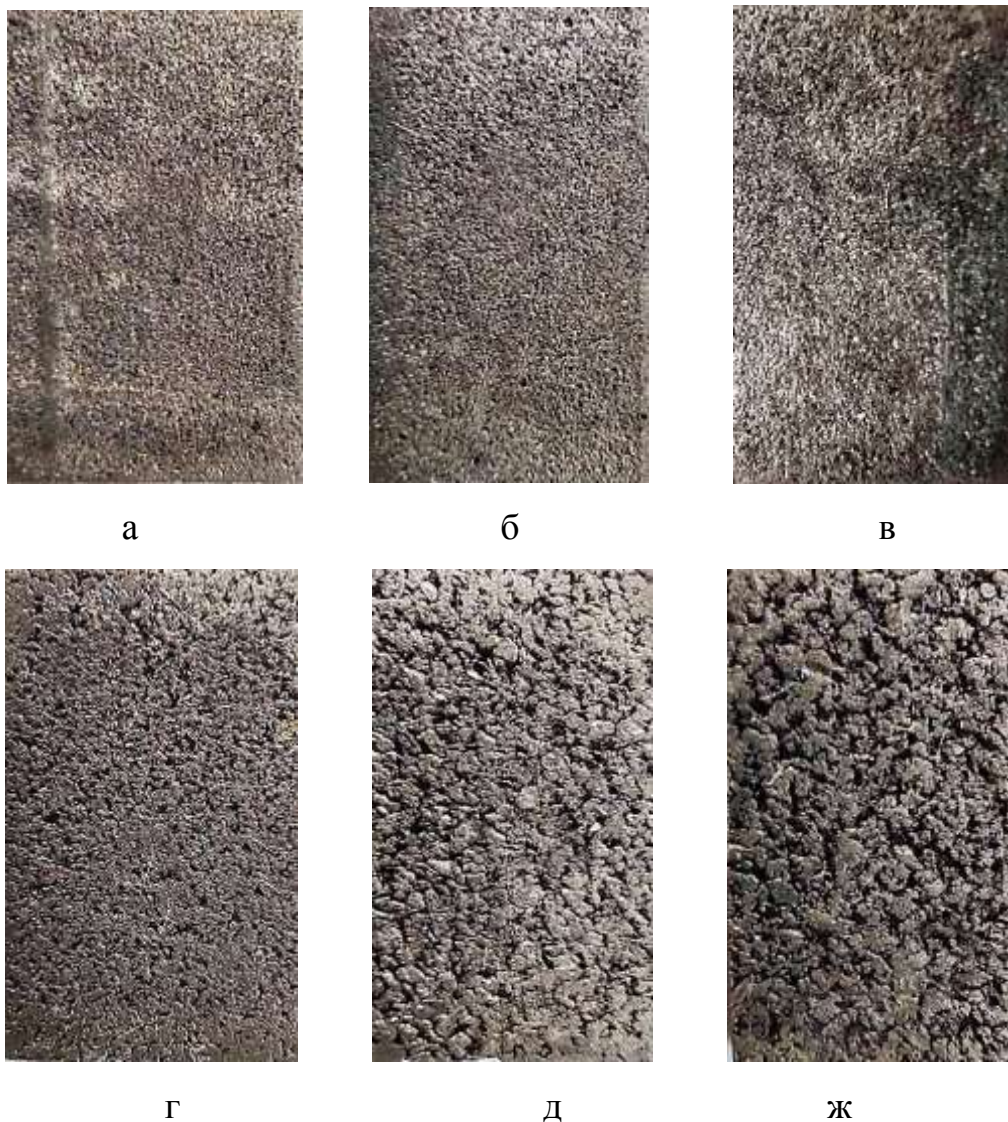
Таблиця 3.1 – Властивості порошкового титанового сплаву VT1-0

Фракція порошку, мкм	ρ , г/см ³	Пористість, %	HRB
100	4,33	3,94	65
160	3,96	12,11	54
200	3,95	12,37	51
315	3,89	13,58	33
630	3,75	16,76	30
800	3,67	18,44	25

При металографічному аналізі шліфів встановлено, що їх структура складалася з α -фази та різними за формою та розмірами порами. Пори в зразках переважно мали неправильну форму, а їх розміри змінювалися при змінненні розмірів частинок. При малих фракціях порошків вони були розташовані більш поодинокі (див. рис. 3.1 а-в). Зі збільшенням розміру частинок губчастого

порошку титану самі частинки мали більш розгалужену поверхню, оточену мережою пор (див. рис. 3.1 г-ж).

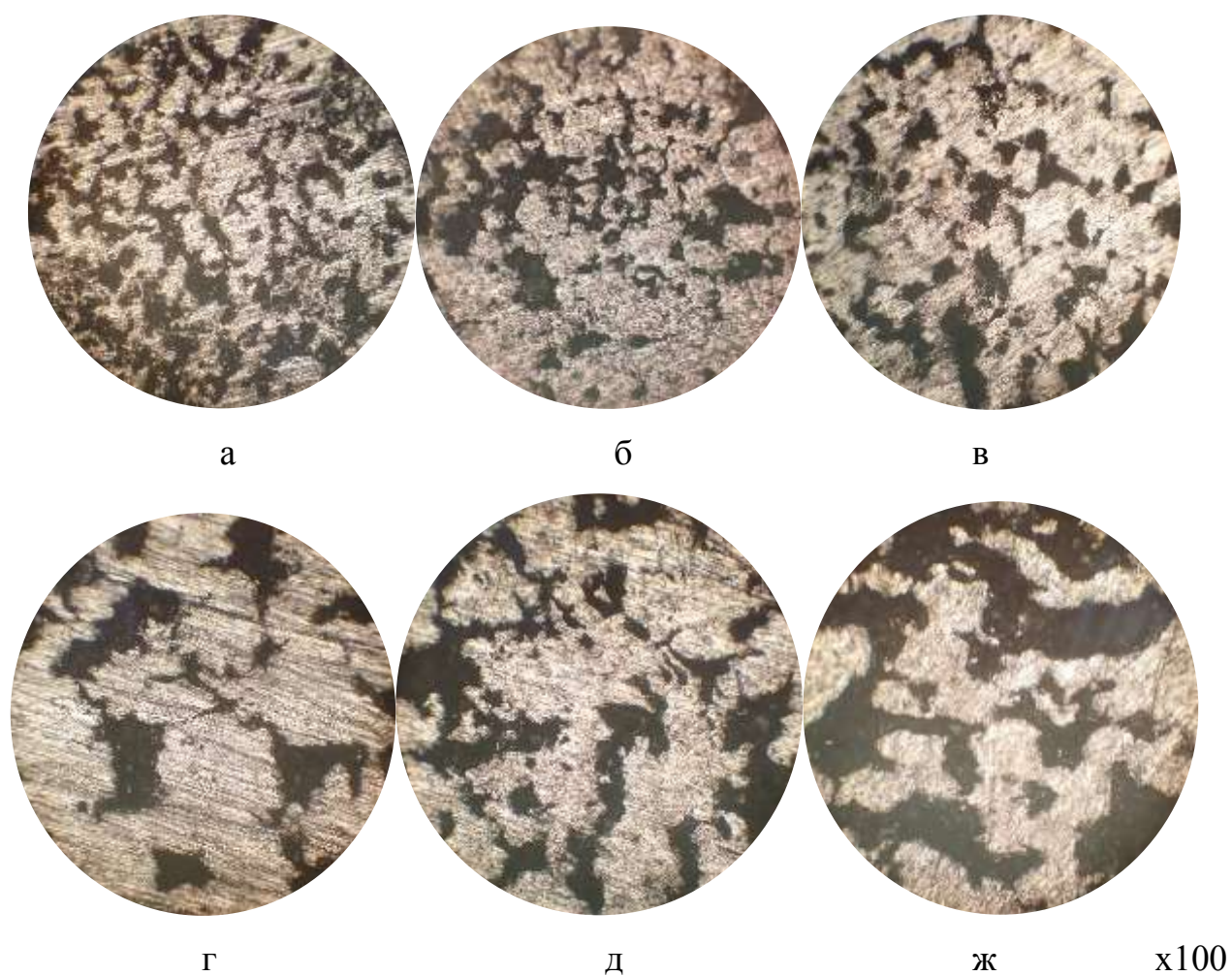
Зміни в структурі відповідно призвели до змін властивостей. Зі збільшенням розміру частинок титанового порошку щільність зразків зменшувалася, а пористість збільшувалася. За отриманими значеннями щільності побудовано графік залежності цієї властивості від гранулометричного складу матеріалу (рис. 3.3).



а – 100мкм; б – 160 мкм; в – 200 мкм;

г – 315 мкм; д – 630 мкм; ж – 800 мкм

Рисунок 3.1 – Макроструктура сплаву ВТ1-0 з різними фракціями порошку



а – 100 мкм; б – 160 мкм; в – 200 мкм; г – 315 мкм; д – 630 мкм; ж – 800 мкм

Рисунок 3.2 – Мікроструктура спечених зразків при збільшенні:

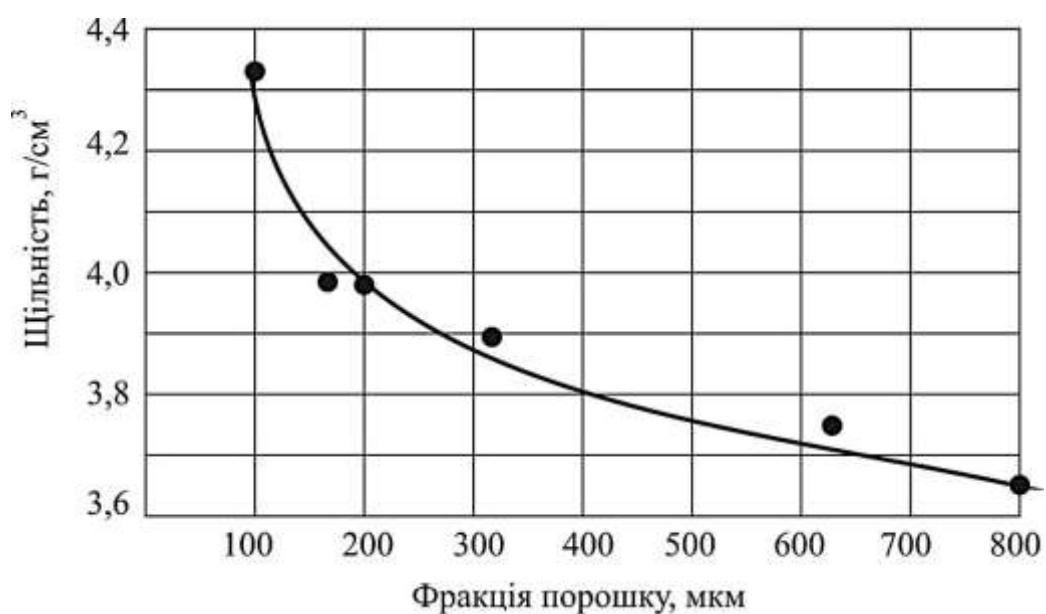


Рисунок 3.3 - Залежність щільності порошку від його фракції при тиску пресування 700 МПа

Аналіз графіка показав, що максимум щільності спостерігався в точці з найменшою фракцією 100 мкм і мав значення щільності $4,33 \text{ г/см}^3$. Мінімальна щільність відповідала найбільшій фракції 800 мкм зі значенням $3,67 \text{ г/см}^3$.

Зниженню об'ємної частки пор і їх розмірів зі зменшенням крупності порошку можна надати пояснення за рахунок того, що дрібний порошок при пресуванні укладається більш компактно, тому утворюються більш дрібні пори, які легше заліковуються при спіканні. При цьому слід врахувати, що тиск пресування не змінювався.

Зміна щільності та пористості при різному гранулометричному складі відповідно вплинула на твердість зразків. Визначення твердості проводили за методом Роквелла, шкала HRB. Результати експериментів (див. табл. 3.1) зображено у вигляді графіку (рис. 3.4). Максимальна твердість була у зразку з мінімальною фракцією порошку, що пояснюється максимальною щільністю зразку та мінімальною пористістю.

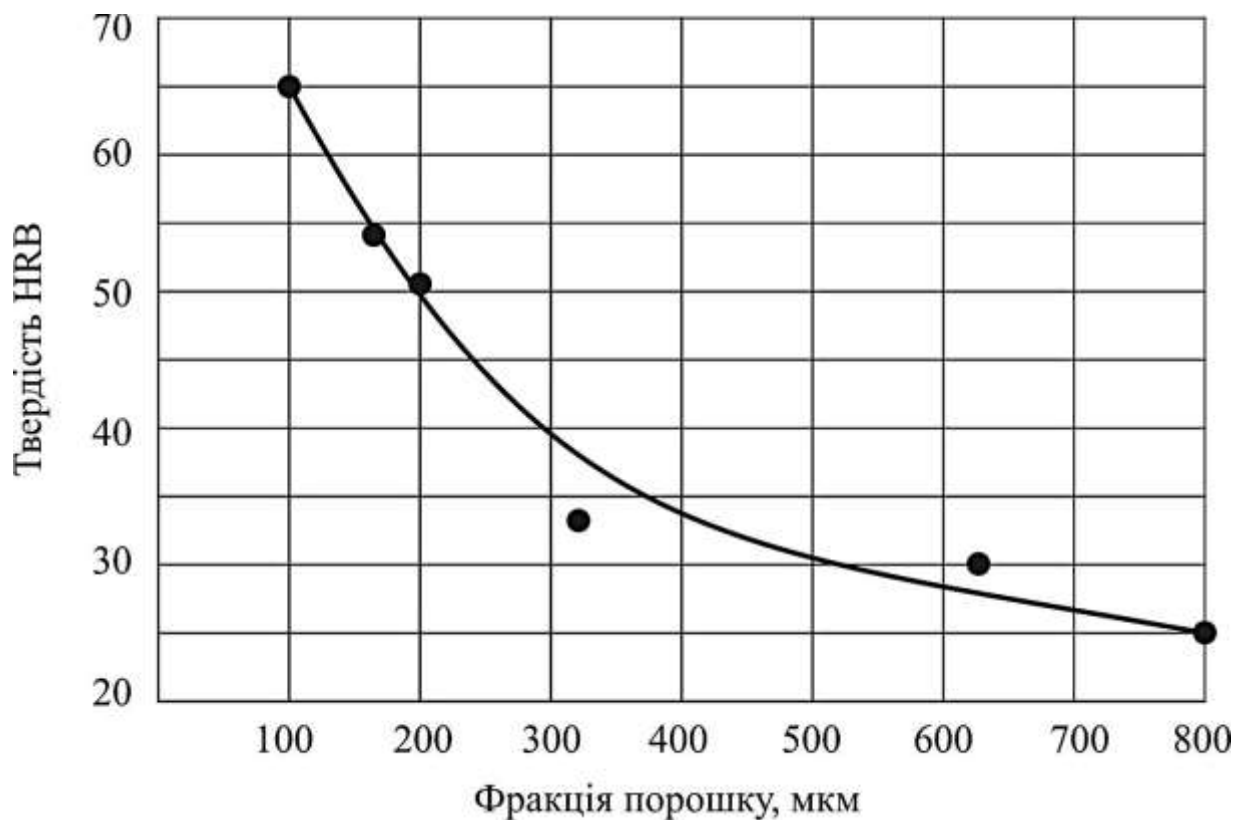


Рисунок 3.4 – Твердість зразків в залежності від фракційного складу матеріалу BT1-0

3.2. Корозійні випробування

Корозійні випробування проводять з метою з'ясування механізму корозії, визначення швидкості протікання корозійних руйнувань, знаходження факторів, що впливають на корозійне поведінку матеріалу.

Одним із способів підвищення корозійної стійкості металів є створення на поверхні захисних плівок, що ізолюють метал від агресивного середовища. Добрий опір титану корозії пояснюється формуванням на поверхні порошинок щільної захисної плівки - оксиду титану. Висока корозійна стійкість титану та його сплавів спостерігається досить у багатьох розчинах (HCl, H₂SO₄, HNO₃, H₃PO₄ та інших) при визначених концентраціях і температурах. Недоліком є низька корозійна стійкість в розчинах сильних кислот при кімнатній температурі або температурі кипіння. До таких середовищ відносяться хлоридна, сульфатна, фосфатна кислоти.

У хлоридній кислоті титан стійкий лише у розбавлених розчинах. Наприклад, в 0,5% HCl при нагріванні до 100° С швидкість корозії титану не перевищує 0,01 мм/рік, у 10%-вій при кімнатній температурі швидкість досягає 0,1 мм/рік, а у 20%-вій при 20°С – 0,58 мм/рік. При нагріванні швидкість корозії титану в хлоридній кислоті різко підвищується. Так у 1,5% HCl при 100°С швидкість корозії складає 4,4 мм/рік, а у 20%-вій при нагріванні до 60°С – вже 29,8 мм/рік [29-31].

В наших дослідженнях застосування концентрованої хлоридної кислоти та підвищення температури призвело до кородування сплаву з водневою деполаризацією та пришвидшення корозійної реакції. Інтенсивну корозію можна пояснити розчиненням захисної плівки оксиду титану, в результаті чого метал перейшов з пасивного до активного стану, що супроводжувалося підвищенням швидкості корозії.

Процес проходив за хімічною реакцією (3.1) з утворенням фіолетового трихлорида титану. Підтвердженням слугувала зміна кольору розчину з прозорого до темно фіолетового (рис. 3.5):



Рисунок 3.5 – Зміна кольору розчину під час проведення експерименту.

Результати випробувань у вигляді розрахованих швидкості корозії K_m та глибинного показника Π представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати корозійних випробувань порошкового матеріалу ВТ1-0

Фракція, мкм	Загальна S , m^2	Δm , г	ρ , г/см^3	K_m , $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$	Π , мм/рік
100	0,0026	0,0016	4,33	18,93	38,33
160	0,0031	0,0101	3,96	97,99	216,78
200	0,0028	0,0134	3,95	144,88	321,51
315	0,0028	0,0357	3,89	381,34	858,04
630	0,0022	0,0263	3,75	362,84	847,65
800	0,0028	0,044	3,67	476,56	1136,14

Аналіз отриманих даних показав, що чим більше була фракція порошку, тим більші були показники корозії. Швидкість корозії зразка з розміром частинок 100 мкм складала $18,93 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$, а для 800 мкм – зросла до $476,56 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$. Подібна залежність спостерігалася і для глибинного показника. Таку тенденцію можна пояснити зниженням щільності і підвищенням пористості зразків при збільшенні фракції порошку. Наявність в зразках пустот більших розмірів та в більшій кількості (див рис. 3.1, 3.2) могло призвести до утворення так званої «тунельної» пористості і, відповідно, до збільшення сумарної площі, що кородувала. Також слід врахувати, що при зміні корозійного середовища та появі несприятливих факторів (підвищенні температури) швидкість корозії значно зростає, і матеріали на основі титану, що відносяться до групи стійких переходять до групи нестійких [32]. Такі дані досліджень будуть доречні, наприклад, при виготовленні виробів з титанового порошку для нафтопереробної промисловості, де гаряча концентрована хлоридна кислота використовується в якості розчинника для роз'їдання породи.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при проведенні досліджень з впливу гранулометричного складу на властивості титанового сплаву ВТ1.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки пов'язані з порушеннями вимог ергономіки при організації робочого місця та робочої зони дослідника. Порушення вимог ергономіки може призвести до зниження ефективності праці;

б) Можливість ураження електричним струмом внаслідок порушення правил електробезпеки;

в) Небезпеки які пов'язані з обробкою дослідницьких зразків певного гранулометричного складу;

г) Небезпеки які пов'язані з проведенням гравіметричного дослідження на визначення швидкості та глибини корозії, а саме можливість отруєння парами через порушення правил роботи з кислотою HCl;

д) Небезпеки, які пов'язані з використанням комп'ютерної техніки та обладнання при обробці результатів дослідження, зокрема, негативний вплив випромінювань або напруженості та інтенсивності трудових процесів, що може призвести до втоми, зниження працездатності, збудливості, хронічних головних болів, порушення сну, стресів;

е) Неефективна організація та порушення норм освітлення робочих зон дослідницької лабораторії згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», наслідком чого є вихід з ладу освітлювальних приладів, що може

призвести до погіршення зору, втоми центральної нервової системи, при розпізнаванні об'єктів розрізнення;

є) Незадовільні параметри повітряного середовища на робочому місці через неефективну систему кондиціонування, що призводить до зниження працездатності;

ж) Можливість загоряння внаслідок порушення правил пожежної безпеки або коротких замикань, що може привести до пожежі;

з) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці, під час надзвичайних ситуацій при недостатньої стійкості інженерних споруд;

4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Організація робочого місця для проведення досліджень відбувається за нормами та вимогами відповідно до стандарту ГОСТ 12.2.032–78. ССБП – «Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги»; ГОСТ 12.2.049-80 ССБП – «Робоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги».

Робочим місцем дослідника називають зону простору, в якій відбувається діяльність одного чи групи дослідників. Ця зона оснащена необхідним обладнанням та устаткуванням. Раціонально сплановане робоче місце повинно включати:

- оптимальне розміщення знарядь і предметів праці;
- відсутність загального дискомфорту;
- зменшення втомлюваності дослідника;
- підвищувати його продуктивність праці.

Площа повинна бути достатньою, щоб дослідник не відчував незручності під час проведення дослідницької роботи та не робив зайвих, при цьому мав можливість змінити робочу позу, тобто положення корпусу, рук, ніг.

Основні заходи захисту від можливості ураження електричним струмом в дослідницькій лабораторії можна розділити на організаційні та технічні.

Організаційні заходи:

- вивчення та атестація на знання правил електробезпеки; Відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» та ДНАОП 1.1.10-1.01-200 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів» експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. Для кожного електричного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи:

- дотримання вимог ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности». Устрій системи заземлення електроспоживаючого обладнання згідно «Правилам улаштування електроустановок». Переконалися, в недоступності струмопровідних частин для випадкового доторкання; використовувати ізоляцію; прийняти заходи колективного захисту для запобігання ураження електричним струмом, а саме захисне заземлення, автоматичне відключення; регулярно перевіряти опір заземлення; контролювати та запобігати пошкодженню ізоляції. Розташування струмопровідних деталей на недосяжній висоті (до 1000 В - не менше 3,5 м, напруга більше 1000 В - не менше 6 м).

Для запобігання механічних травм при підготовці зразків до дослідження на шліфувальних і заточувальних верстатах необхідно дотримуватись правил:

- використовувати індивідуальні засоби захисту: халат, рукавиці, захисні окуляри;
- своєчасно проводити заміну деталей на шліфувальному станку.
- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками;
- шліфувальні верстати повинні бути обладнані: блокуючими пристроями для зупинки столу і шліфувального кола при припиненні подачі

електроенергії на плиту - верстати з електромагнітними плитами; відсмоктуючими пристроями – для відсмоктування шкідливих аерозолів із зони обробки.

Щоб запобігти отруєння та хімічних опіків при проведенні досліджень на визначення швидкості та глибини корозії з кислотами та їдкими речовинами необхідно дотримуватися вимог охорони праці. При самостійному проведенні дослідження з використанням кислот допускаються особи віком не молодше 18 років. Дослідник повинен пройти спеціалізоване навчання, а також інструктаж по правилах безпечної роботи з кислотами і пожежній безпеці. Обов'язкова перевірка засобів індивідуального захисту: халат, захисні, гумові рукавиці, захисні окуляри тощо. Перевірка обладнання і приладів які будуть використовуватись на справність. Увімкнути припливно-витяжну вентиляцію за 25 хвилин до початку експерименту. При виявлених несправностях обладнання та засобів колективного захисту сповістити керівника робіт (відповідального за проведення даної роботи) та не приступати до роботи до усунення виявлених несправностей.

Важливим є додержання вимог при виконанні експерименту та забезпечення безпечного виконання робіт для запобігання негативного впливу на організм людини. Всі операції, пов'язані із застосуванням або можливим утворенням і виділенням отруйних, їдких, вибухонебезпечних або речовин, необхідно виконувати виключно у витяжній шафі при працюючій загальнообмінній вентиляції приміщення з застосуванням засобів індивідуального захисту.

Використання термостійкого посуду якщо при змішуванні та розведенні хімічних речовин, відбувається реакція, що супроводжується виділенням тепла. Переливання кислот та лугів з бутлів в більш дрібну тару необхідно виконувати вдвох за допомогою сифона і тільки під місцевою витяжною вентиляцією.

При приготування розчинів кислоти потрібно виливати у воду тонким струменем при постійному змішуванні. Щоб отримати концентрований розчин

кислоти, кислоту потрібно виливати у воду, при постійному перемішуванні. Важливо дотримуватись саме такої послідовності.

Розчинення концентрованої кислоти у воді (особливо хлорідна) супроводжуватиметься інтенсивним нагріванням та розбризкуванням рідини, що може спричинити опіки. Щоб розбавити концентровані кислоти, проводити змішування з екзотермічними речовинами, потрібно з використанням хімічного тонкостінного посуду з фарфору або скла. При всіх операціях з використанням кислот та лугів необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: халати та гумові фартухи, гумові рукавички, окуляри тощо. Витрачену кислоту та відпрацьований луг слід збирати окремо у спеціально розроблені ємності та вивантажувати лише після знешкодження.

Методи праці та відпочинку при обробці результатів досліджень за комп'ютером повинні бути організовані відповідно до виду та категорії роботи. Види роботи поділяються на 3 групи:

- група А - робота з читання інформації з екрану комп'ютера згідно з попереднім запитом;
- група В - робота з введення інформації;
- група В - творча робота в режимі діалогу.

Основа роботи з комп'ютером повинна становити щонайменше 50% часу роботи комп'ютера.

Робота з комп'ютером ділиться на 3 рівні тяжкості та інтенсивності:

- група А - загальна кількість прочитаних символів при користуванні комп'ютером, але не більше 60 000 символів;
- для групи В на основі читання або загальної кількості введених символів під час використання комп'ютера, але не більше 60 000 символів;
- група В - загальний час безпосереднього використання комп'ютера, але не більше 6 годин.

При обробці результатів за комп'ютером відстань між сторонами монітора ПК повинна бути не менше 1,2 м. Відстань між задньою частиною одного монітора та екраном іншого монітора має бути менше 2,5 м. При роботі з

компютером необхідно забезпечити зручну робочу позу за допомогою регулювання висоти робочого сидіння (стільця, крісла). Конструкція робочого місця дослідника має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками:

- ступні ніг повинні знаходитися на підлозі або на підставці для ніг;
- стегна – в горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті повинні бути під кутом 70-90° до вертикальної площини;
- зап'ястя повинні бути зігнуті але кут згину не повинет перевищувати 20° відносно горизонтальної площини;
- нахил голови 15-20° відносно вертикальної площини.

4.3 Заходи щодо виробничої санітарії та охорони праці

Важливим при організації робочого місця дотримуватися гігієнічних, антропометричних, фізіологічних вимог.

Гігієнічні (рівень освітленості, температура, вологість повітря, шум, вібрація, токсичність, загазованість та інші) тобто вимоги цього типу враховують умови життєдіяльності, працездатності людини у процесі взаємодії з технікою і середовищем.

Антропометричні (раціональна робоча поза, раціональні трудові рухи) визначають відповідність конструкцій техніки зросту, розмірам тіла та окремих рухових ланок людини.

Фізіологічні та психофізіологічні вимоги визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприйняття, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Експерименти та дослідження проводять згідно нормам ГОСТ 1.25–76 «ГСС Метрологическое обеспечение. Основные положения»; ГОСТ 12.0.005–84

«ССБТ Метрологическое обеспечение в области безопасности труда. Основные положения»; стандартів Державної системи забезпечення єдності вимірів; методичних вказівок, затверджених Міністерством охорони здоров'я.

Важливим є відповідність обладнання та приладів, які використовуються в процесі дослідження нормативним вимогам і підлягати перевірці у встановлені строки.

Лабораторно-інструментальні дослідження фізичних, хімічних, біологічних матеріалів в характерних виробничих умовах з використанням засобів індивідуального та колективного забезпечують за допомогою:

- раціонального планування (відповідність стандартам безпеки, санітарним нормам, відповідність площі робочого місця нормам технічного проектування та оптимального розміщення обладнання і оснащення);
- технологічного оснащення робочого місця (наявність необхідного технологічного оснащення, інструментів та приладів, їх технологічного стану).

Електричні обігрівачі із закритими нагрівальними елементами дозволяються лише у спеціально відведених місцях. Невиконання вимог мікроклімату в приміщенні призведе не тільки до значного зниження продуктивності праці, але й до зменшення робочого часу через збільшення похибок у роботі, але також призведе до порушення функції дихальної системи, нервової системи та імунної системи або хронічних захворювань.

Важкість праці визначається згідно ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».

З метою запобігання втому рекомендовано скорочувати робочий час, враховувати механізацію та автоматизацію, раціонально організувати трудовий процес, мінімізувати статичні операції, виключати непотрібні технології на роботі тощо. Важкість праці представлена функціональним навантаженням організму, яке виникає під впливом м'язового та нейроемоційного навантаження та зовнішніх виробничих умов. У цьому сенсі поняття «важкість праці» може застосовуватися до фізичної, розумової та неврологічної роботи. Завдяки періоду відпочинку,

передбаченому законом, працездатність може бути відновлена, що є функціональною характеристикою людського організму.

Освітлення робочого місця нормується згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

Найбільш часто використовуваний метод розрахунку штучного освітлення:

- метод світлового потоку (коефіцієнт використання): розрахувати загальної рівномірної освітленості горизонтальної поверхні;
- точковий метод: використовується для розрахунку місцевого освітлення та комбінованого освітлення, а також освітлення для похилих площин;
- метод специфічної потужності: використовується для приблизних та орієнтовних розрахунків.

Для розрахунку загального рівномірного освітлення, враховується прямий світловий потік світильника та відбите світло від стін та стелі, використовують перший метод - метод використання світлового потоку, який вважається найбільш точним. Цей метод дозволяє визначити оптимальну кількість ламп та потужність освітлювального обладнання у разі рівномірного розміщення загальних освітлювальних приладів.

Необхідно врахувати також вимогу при виконанні в приміщеннях робіт I-III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів застосовується система комбінованого освітлення. Система загального освітлення використовується при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

Розрахунок штучного освітлення проведемо дослідницької лабораторії площею 128 м², ширина якої складає 16 м, довжина – 8 м, висота – 4 м.

Зорова робота у дослідницькій лабораторії характеризується як робота середньої точності, згідно вище вказаних норм. Рівень нормованої освітленості E_n у такому випадку буде становити $E_n=200$ лк.

У якості джерела світла обираємо світлодіодні прилади (LED). Такі джерела світла складаються зі світлодіодів. LED – лампи є економічними та мають високу світловіддачу і довговічність (до 50000годин роботи). Вони майже не випромінюють тепло та не створюють миготіння при роботі, здатні функціонувати в діапазоні високих та низьких температур. Основним недоліком LED – світильників є їх висока собівартість.

При виборі типу світильника важливим фактором є умови навколишнього середовища, а також характеристики і клас освітлювального приміщення за вибухопожежонебезпекою.

Оскільки приміщенням є дослідницька лабораторія з висотою стелі 4м обираємо світильник SLICK PRS AGRO LED18.

Коефіцієнт запасу k_3 та коефіцієнта нерівномірності освітлення z для данного світильника рівні: $k_3=1.3$; $z=1.1$.

Оскільки дослідницька лабораторія є приміщенням з незначним пиловиділенням, обираємо коефіцієнти відбиття поверхонь ρ_c - 50%; $\rho_{ст}$ - 30%; $\rho_{п}$ - 10%.

Визначити значення індексу приміщення (i), що характеризується за співвідношення розмірів лабораторії і висоти розміщення світильників. Визначимо чисельне значення індексу приміщення за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A + B)} = \frac{16 * 8}{2,86 * (16 + 8)} = 1,86 \quad (4.1)$$

де A – довжина приміщення, м; $A = 16$ м;

B – ширина приміщення, м; $B = 8$ м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

$$H = h + h_p + h_3, \text{ м} \quad (4.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м; $H = 4$ м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м; $h_p = 0,8$ м;

h_3 – висота звисання світильника від стелі, м.

Розрахування кількості рядів світильників у приміщенні відбувається за формулою, м:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]} = \frac{8}{(4 - 0,8) * 1,4} = 1,79 \approx 2 \quad (4.3)$$

де $[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника;

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників, м:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{8}{2} = 4 \quad (4.4)$$

Розрахувати висоту підвісу світильника над робочою поверхнею, м:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} = \frac{4}{1,4} = 2,86 \quad (4.5)$$

Висоту звисання світильника від стелі визначаємо за формулою:

$$h_3 = H - h_p - h = 4 - 0,8 - 2,86 = 0,36 \quad (4.6)$$

На основі коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення ($\rho_c = 50$, $\rho_{ст} = 30$, $\rho_{п} = 10$), виду джерела світла, типу обраного світильника обираємо значення коефіцієнта використання світлового потоку.

Оскільки було обрано в якості джерела світла LED – світильники типу SLICK, коефіцієнт використання світлового потоку буде $\eta = 50\%$

Для визначення загальної кількості LED – світильників та світлового потоку розраховуємо сумарний світловий потік Φ_{Σ} освітлювальної установки у лабораторії, лм:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n * S * k_3 * z}{\eta} = \frac{200 * 128 * 1,3 * 1,1}{0,5} = 73216 \quad (4.7)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;
 E_n – нормоване значення освітленості, лк;
 S – площа освітлюваної поверхні, м² ;
 k_3 – коефіцієнт запасу;
 z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;
 η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Виходячи з позиції розташування LED – світильників у вершинах квадрата розраховуємо їх загальну кількість N за формулою, шт:

$$N^*_{LED} = \frac{AB}{L^2_{max}} = \frac{16 * 8}{4^2} = 8 \quad (4.8)$$

Розрахунковий світловий потік Φ^*_{LED} , лм визначається:

$$\Phi^*_{LED} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N^*_{LED}} = \frac{73216}{8} = 9152 \quad (4.9)$$

Визначаємо коефіцієнт пропорційності:

$$m_{LED} = \frac{\Phi^*_{LED}}{\Phi_{LED}} = \frac{9152}{2300} = 3,98 \quad (4.10)$$

Визначаємо фактичну кількість світильників.

$$N_{\Phi LED} = N_{LED}^* \cdot m_{LED} = 8 \cdot 3,98 = 31,84 \approx 32 \quad (4.11)$$

При застосуванні LED – світильників визначають розрахункову освітленість:

$$E_p = \frac{\Phi_{LED} \cdot N_{\Phi LED} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{2300 \cdot 32 \cdot 0,50}{128 \cdot 1,3 \cdot 1,1} = 201,05 \quad (4.12)$$

Оскільки розрахункова освітленість майже дорівнює нормованому значенню освітленості, обраний тип освітлення та кількість світильників є достатнім для освітлення приміщення. Доцільним є розміщення світильників у 4 ряди. Отже отримаємо 4 ряди по 8 світильників у кожному.

Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки, Вт:

$$P_{\Sigma LED} = N_{\Phi LED} \cdot P_{LED} = 32 \cdot 18 = 576 \quad (4.13)$$

де P_{LED} – потужність SLICK PRS AGRO LED18.

Розташовуємо світильники на плані залежно від їх розміру на рисунку 4.1.

Для того щоб забезпечити оптимальних параметрів повітряного середовища у дослідницькому приміщенні передбачено влаштування загально обмінної механічної вентиляції згідно ДСТУ 12.4.021-75 «Система стандартів безпеки труда. Системы вентиляционные. Общие требования», а також згідно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование», враховувалися вимоги згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

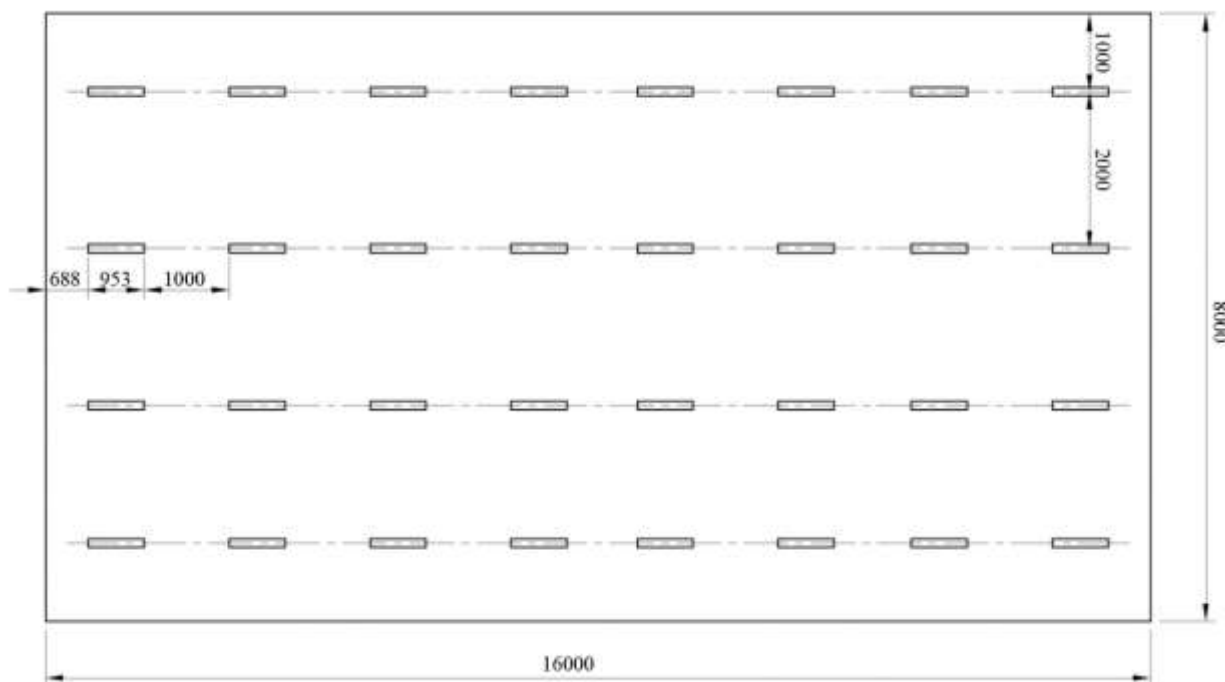


Рисунок 4.1 – Схема розміщення світильників у виробничому приміщенні

Для зменшення концентрації шкідливих речовин на робочих місцях до гранично допустимих, застосовують припливно-витяжну вентиляцію, згідно СНиП 2.04.0591 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Кондиціонування – це сукупність технічних заходів, призначених для створення та автоматичного підтримання хороших кліматичних умов у приміщенні. Процес кондиціонування залежить від зміни зовнішньої температури та тепла, що виділяється в приміщенні. Для кондиціонування використовують спеціальне обладнання-кондиціонери. Сучасні кондиціонери - це універсальне обладнання, яке може забезпечити сприятливі параметри мікроклімату для дослідницької лабораторії. Надмірне нагрівання залежить від розміру приміщення та інших джерел тепла: інтенсивності сонячного випромінювання, тепла, що виробляється людьми, освітлення, оргтехніки тощо. Система кондиціонування зазвичай виконує функцію подачі вентиляції. У теплу пору року вони охолоджують і сушать повітря в холодну погоду, нагріваючи та зволожуючи. Отже, система кондиціонування може одночасно поєднувати декілька функцій і

виконувати кожну функцію окремо (вентиляція, охолодження, опалення, очищення, зволоження, осушення тощо). Вибір та ефективність роботи системи кондиціонування ґрунтується на розрахунку кількості повітрообміну, необхідного в теплий період року.

4.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

4.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Заходи пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Будівлі класифікуються за виробничою категорією з небезпекою пожежі (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» і СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Відповідно до категорії пожежі та вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», визначають вогнестійкість приміщення.

Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи) передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Максимальну відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу визначають згідно з СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж вимогам пожежної безпеки в першу чергу залежить від відповідності ступеня захисту їх оболонки (ІР) класу пожежанебезпечної зони (П-I, П-II, П-IIIа и П-III) визначених

згідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5- 56:2014 «Системи протипожежного захисту».

4.4.2 Заходи з цивільного захисту

Укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту - це ряд заходів, по завчасному будівництві захисних будівель та підготовці існуючих ділянок. У випадку аварій та певних стихійних лих (замети, урагани тощо) захист мешканців у захисній споруді є надійним способом запобігання пошкодженню ядерної, хімічної, бактеріальної та звичайної зброї.

В надзвичайних ситуаціях усіх жителів України слід розмістити в захисних будівлях. Фонд захисного будівництва був створений:

- враховуючи необхідність реконструкції та використання частини будинків для переселення мешканців у надзвичайних ситуаціях, повноцінно освоїти підземний простір населених пунктів з метою розміщення будівель та будинків, призначених для побутових, промислових та господарських потреб;
- дослідження та облік підземних та надземних будівель та споруд, що відповідають вимогам захисту населення земної кори, гірничих робіт та природних пустот
- додаткове обладнання, що враховує вимоги до захисту підвалів та інших глибших приміщень;
- будівництво глибоких споруд та інших нерухомих споруд, придатних для виконання завдань цивільної оборони;
- широкомасштабне будівництво на найпростішому складі та укритті під час надзвичайної загрози;

- будівництво окремих сховищ та радіаційних щитів.

Захисна споруди за своїм призначенням та захисними характеристиками поділяється на укриття з повітряним, радіаційно-захисне укриття з повітряним нальотом та найпростіше укриття щілі.

Потреба в захисній конструкції базується на необхідності розміщення всіх робітників на роботі та за місцем проживання та необхідності проживання всього безробітного населення в резиденціях.

Якщо захисні конструкції використовуються не за призначенням, їх можна використовувати для таких цілей:

- санітарні приміщення;
- склади та склади;
- навчальні курси;
- виробничі потужності;
- гімназії тощо.

У цьому випадку використання захисної конструкції в ненавмисних цілях не повинно порушувати її захисні характеристики. З цієї причини забороняється розбирати обладнання захисної конструкції, перепланувати майданчик, влаштовувати отвори та невеликі отвори в закритій конструкції та інші порушення захисних характеристик та герметизації. Всі приміщення повинні бути сухими та регулярно провітрюватися. Захисні та герметичні двері слід відкривати на полиці. Слід забезпечити готовність захисної конструкції (не більше 24 годин).

Евакуація стосується систематичного вивезення (евакуації) людей з об'єктів та населених пунктів, перебування в котрих загрожує життю. Основна мета евакуації - забезпечити безпеку всіх і кожного. Також потрібно евакуювати цінності, документи та архіви.

Евакуація населення та розміщення їх у безпечній зоні проживання є основним методом захисту населених пунктів, де знаходяться об'єкти підвищеного ризику та коли в особливий періоди не передбачені належні захисні споруди.

Якщо це становить пряму загрозу життю та здоров'ю людей, мешканців, які проживають у населених пунктах у районах, де можуть відбутися катастрофічні повені, небезпечне радіоактивне забруднення, хімічне забруднення, стихійні лиха, аварії та катастрофи, необхідно евакуювати.

В надзвичайних ситуаціях загальна або часткова евакуація персоналу є тимчасовою або незворотною.

За таких обставин, згідно з рішенням Кабінету Міністрів України, здійснюється загальна евакуація населення в особливі періоди в різних регіонах:

- небезпека радіоактивного забруднення в районі АЕС (якщо це становить пряму загрозу життю та здоров'ю жителів, які проживають на зараженій території);

- проривні хвилі менше чотирьох годин загрожували катастрофічними повенями в районі;

- загроза життю та здоров'ю людей, які проживають у районах надзвичайних військових ситуацій.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

Результати досліджень свідчать, що титан у промисловості та економічній діяльності України має велике значення. Україна одна з небагатьох країн яка має замкнутий цикл виробництва деталей із титану: від видобутку титановмісних руд і їх переробки до виробництва готової продукції. Найчастіше використовують у виробництві ливарні титанові сплави. Оскільки титан відноситься до важко плавких матеріалів, недоліком ливарних титанових сплавів є великі енергетичні затрати при проведенні плавки. А також низький коефіцієнт використання матеріалу, через потребу механічної обробки деталей. З огляду на ці фактори все більше уваги приділяється порошкової металургії. Застосування порошкових титанових сплавів дозволяє знизити витрати у 2-5 разів, що в свою чергу знижує собівартість виготовлення виробів із цих матеріалів.

Подані пропозиції щодо вдосконалення технологічного процесу вважаємо доцільним розглядати як інновації, а процес їх впровадження – як процес управління інноваційним проектом.

Під процесом управління інноваційним проектом розуміємо процес управління людськими, матеріальними та фінансовими ресурсами проекту. Цей процес може забезпечити досягнення запланованих результатів на основі узгодження інтересів та ефективної взаємодії учасників проекту в процесі впровадження.

5.1 Опис проекту та середовища його реалізації

Зміст проекту зазначено, напрямки його застосування та вигоди для споживачів зазначено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис проекту

Зміст проекту	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
На основі проведеного дослідження надати оброблені результати та рекомендації, щодо поліпшення технологічного процесу виготовлення деталей із порошкових титанових сплавів.	Виробництво	Застосування результатів дослідження для удосконалення процесу виробництва
	Робота в дослідницьких інститутах	Отримання компетентного спеціаліста з навичками у дослідницькій діяльності
	Підвищення кваліфікації шляхом подальшого навчання в аспірантурі	Отримати спеціаліста який зможе оброблювати дані, пропонувати ідеї для поліпшення процесів, який здатен приймати рішення

Головними конкурентами є дослідницькі інститути, зарубіжні фірми, які займаються дослідженнями. Слід зазначити, що потенційні конкуренти, можуть одночасно можуть виступати і в якості потенційних клієнтів.

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільові сегменти ринку	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів
1	2	3	4	5
1	Наявність висококваліфікованих спеціалістів технічного напрямку	Підприємства і фірми державної або приватної власності	Акцентування на теоретичних і практичних знаннях	Наявність: - вищої освіти, - навичок в обробці та застосуванні

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
3	Потреба у дослідженні властивостей виробів із порошкових сплавів титану.	Дослідницькі центри	Акцентування на компетенціях магістра, що пов'язані з практичним застосуванням отриманих знань	інформаційних даних, - володінні новітніми програмними засобами,
4	Потреба у спеціалістах у напрямку викладацької діяльності	Вищі учбові заклади	Акцентування на теоретичних знаннях магістра	

SWOT- аналізі проведеного дослідження можемо виділити наступні сильні сторони та можливості проекту:

- зниження енергетичних витрат через відсутність додаткового розплавлення матеріалу.
- зниження витрат на виконання механічної обробки матеріалу
- підвищення коефіцієнту використання матеріалу
- можливість застосування результатів дослідження на вплив гранулометричного складу вихідного матеріалу на механічні властивості не лише для титанового сплаву BT1-0, а і для інших титанових сплавів.

Слабкі сторони проекту — результати роботи можливо застосувати лише в окремій частині технологічного процесу.

5.2 Опис життєвого циклу проекту

Фундаментальною основою управління інноваційним проектом є концепція його життєвого циклу, яка ґрунтується на твердженні, що інноваційний проект є процесом з моменту розроблення новації і до моменту завершення її

комерціалізації (отримання останньої вигоди), тобто перетворення в інновацію. Перелік стадій життєвого циклу проекту визначається специфікою діяльності, передбаченої проектом. Зокрема, інноваційними проектами металургійних підприємств передбачається комплекс проектних робіт по розробці технолого процесу виробництва:

- збір літературних даних та їх огляд;
- виготовлення зразків, науково-дослідні роботи;
- обробка отриманих результатів, формування висновків.

Тобто, схема життєвого циклу інноваційного проекту набуває наступного вигляду (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Схема життєвого циклу проекту

Таким чином, тривалість життєвого циклу проекту складає 3 місяці або ж 67 робочих днів.

5.3 Цінність проекту (ідеї)

Управління інноваційним проектом має бути як результативним, так і ефективним. За словами П. Друкера, результативність є наслідком того, що робляться потрібні слушні речі; а ефективність - наслідок того, що правильно створюються ці самі речі. Перше і друге є однаково важливим [33].

Цінність даного інноваційного проекту полягає в отриманні таких ефектів:

- зниження енергетичних витрат;
- зниження витрат на виконання механічної обробки матеріалу;
- підвищення коефіцієнту використання матеріалу.

Перелік очікуваних ефектів можна продовжувати і далі, проте згідно Стандарту взаємодії із зацікавленими сторонами AA1000SES (в основу якого покладено ціннісно-орієнтований підхід) та Міжнародного стандарту ISO 26000 «Керівництво із соціальної відповідальності» ключовим параметром визначення ефективності управління інноваційного проекту залишається стейкхолдерська цінність проекту, тобто ступінь задоволення очікувань стейкхолдерів. А отже, виникає потреба зупинитись на стейкхолдер-аналізі.

Стейкхолдер-аналіз нами здійснено у наступній послідовності (рис.5.2):

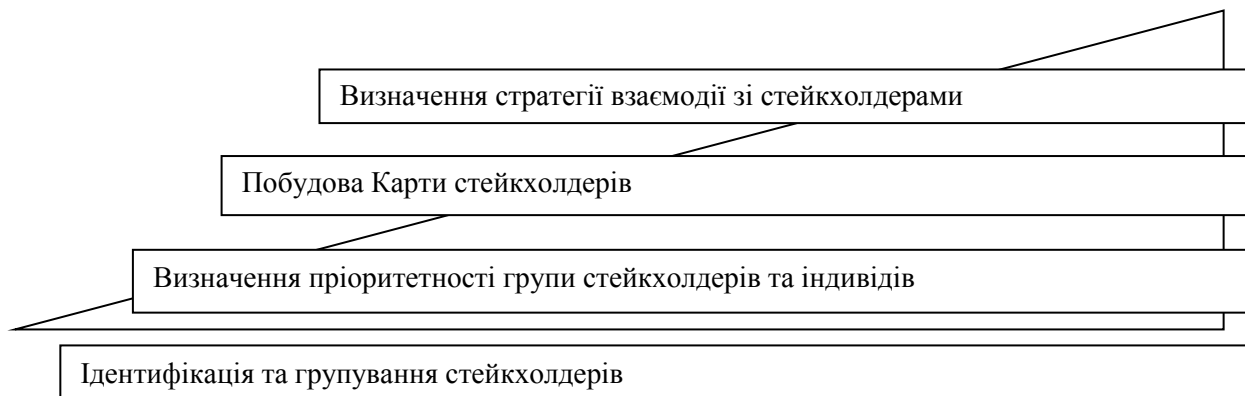


Рисунок 5.2 – Схема послідовності стейкхолдер-аналізу

За результатами ідентифікації та пріоритизації визнано:

- а) лідером (ініціатором) проекту – магістра;*
- б) стейкхолдерами безпосереднього впливу:*

1. Заклади вищої освіти основним інтересом яких є отримання кваліфікованих кадрів на ринку праці. В свою чергу інтерес ініціатора проекту полягає у отриманні знань.

2. Підприємства – отримання результатів дослідження з готовими висновками та рекомендаціями, отримання компетентного працівника. В свою

чергу підприємства створюють робочі міста, що є в свою чергу прямим інтересом ініціатора.

3. Наукові організації та установи та ініціатор проекту мають спільний інтерес обміну результатами досліджень. Крім цього наукові організації можуть надавати робочі місця для лідера проекту, надаючи можливість навчатися на практиці протягом життя і отримання в свою чергу кваліфікованого спеціаліста.

4. Міжнародні організації інтересом яких є отримання результатів дослідження у для розвитку технологій, в свою можуть надавати фінансування для проведення досліджень.

в) стейкхолдерами з опосередкованим впливом:

1. Організації конференцій і виставок з ініціатором мають спільний інтерес, а саме трансфер технологій.

2. Фіскальні органи акумулюють гроші та регулюють діяльність сплата податків.

3. Держава регулює діяльність ініціатора, інтересом стейкхолдера є розвиток технологій.

Здійснена пріоритизація стейкхолдерів дозволила сформувати Карту зацікавлених сторін (*Stakeholder's Map*) (рис. 5.3), а отже, і візуалізувати інтереси стейкхолдерів та їх зацікавленість в успішності реалізації даного проекту.

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Kartі виокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб проекту за можливостями впливу та зацікавленістю в успішності реалізації проекту.

За результатами пріоритизації пріоритетними групами стейкхолдерів визнано підприємства та заклади вищої освіти.

Отже, цінність проекту, насамперед, полягає у задоволенні інтересів, зокрема:

- підприємств у отримання результатів дослідження з готовими рекомендаціями для поліпшення технологічного процесу виготовлення деталей, отримання кваліфікованих спеціалістів;

- закладів вищої освіти у отриманні кваліфікованого кадру на ринку праці.

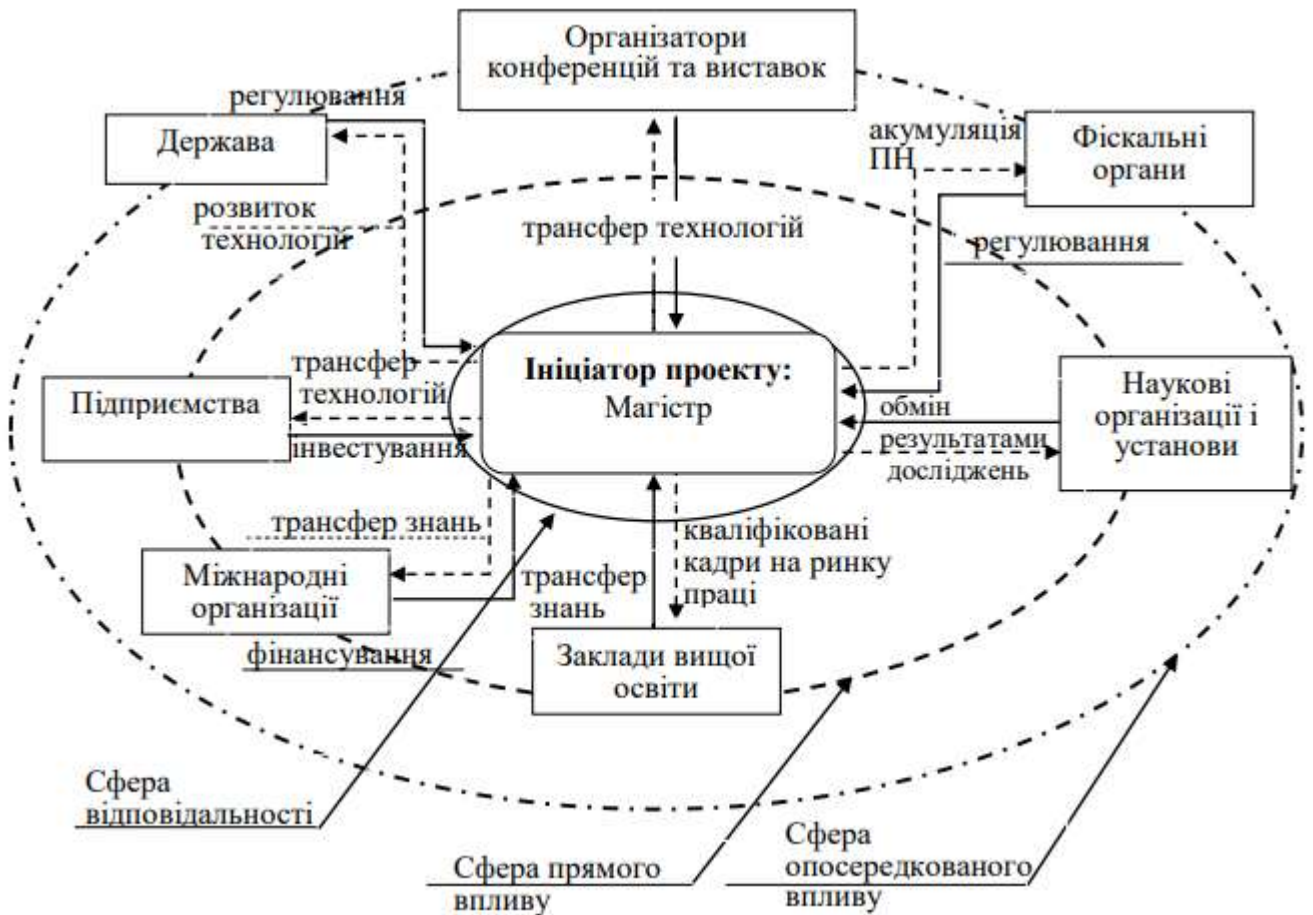


Рисунок 5.3 – Карта стейкхолдерів проекту

5.4 Створення команди

Будь-який з проектів розпочинається зі створення команди. Виходячи зі специфіки запропонованої інновації щодо поліпшення технологічного проєкту та етапів життєвого циклу проєкту, вважаємо доцільним створити команду у наступному складі (рис. 5.4).

Таким чином, за проєктом передбачається створення команди у складі 4 осіб. Проте оскільки розробка даного проєкту передбачається у рамках магістерського дослідження, то витрати на оплату праці ініціатора проєкту (магістра) не передбачаються.

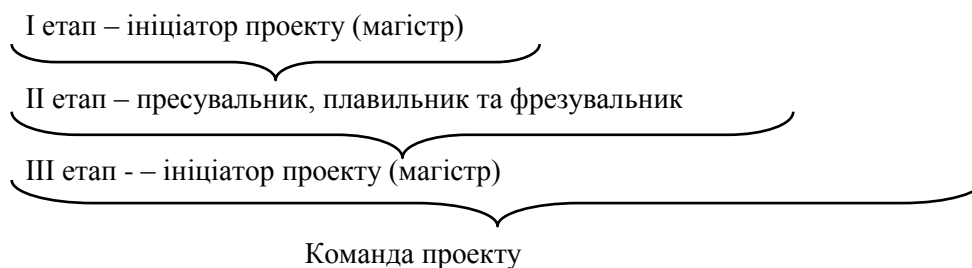


Рисунок 5.4 – Схема формування команди за життєвими циклами проекту

5.5 Визначення потреби у інвестиціях

Виходячи з вимог міжнародних та національних стандартів, потребу в інвестиціях визначено за такими елементами витрат:

- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи (ЄСВ);
- матеріальні витрати;
- витрати по амортизації;
- інші витрати.

Одночасно з визначенням витрат на оплату праці визначено ЄСВ, ставка якого відповідно до чинного законодавства складає 22% від фонду оплати праці.

Витрати на оплату праці (або ж іншими словами фонд оплати праці) визначено в таблиці 5.3.

Наступною групою витрат є матеріальні витрати. Оскільки ціна на титановий порошок відрізняється в залежності від фракційного складу, ділимо зразки на 2 групи за розміром порошинок від 100 до 200 мкм, та розміром 300-800 мкм. Вартість розраховуємо окремо, відповідно до ціни за 1кг. Матеріальні витрати визначено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників у дослідницькій роботі

Категорії працівників	Чисельність працівників	Посадовий оклад, грн	Тарифна ставка	К-сть відпрацьованих годин	Фонд зарплати	ЄСВ
Пресувальник	1	6400	40	0,25	10	2,2
Плавильник	1	7200	45	4	180	39,6
Фрезувальник	1	6720	42	0,5	21	4,62
Разом	3	X	X	X	211	46,42

Таблиця 5.4 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Розрахунок витраченого матеріалу на один зразок	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна, грн	Сума грн
Порошок титановий (100-200мкм)	0,150	3	0,45	400	180
Порошок титановий (300-800 мкм)	0,150	3	0,45	300	135
Разом	X	X	X	X	315

Щодо розрахунку витрат з амортизації, варто зазначити, що з 23.05.20 р. стартували зміни до пп. 14.1.138 Податкового кодексу, згідно з якими вартісний критерій для основних засобів змінено з 6000 грн на 20000 грн. Тож, ті матеріальні цінності, строк корисного використання яких – більше року, але вартість менша чи дорівнює 20000 грн, визнаються малоцінними необоротними матеріальними активами (далі – МНМА). Для них у пп. 138.3.3 ПК передбачено групу 11 «Малоцінні необоротні матеріальні активи», термін використання для яких не визначено. Отже, нарахування амортизації здійснюється за принципом 50/50 (при надходженні - 50% і 50% - при списанні) або ж 100% при надходженні. Визначення МНМА проводимо в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизації по МНМА

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість, грн.	Сума амортизації, грн.
Письменний стіл "Kurt-1"	50	1100	550
Системний блок ARTLINE Business B26 v14	50	7 698	3849
Клавіатура Real-El Standard 502 USB	50	120	60
Миш Lenovo M20	50	100	50
Монітор 21.5" Samsung S22F350F	50	2300	1150
Разом	x	11318	5659

Амортизація по матеріальним цінностям, терміном використання понад 1 рік та вартістю понад 20000 грн. визначається, виходячи з річної норми амортизації по формулі:

$$H_A = \frac{1}{T_{KB}} * 100\%, \quad (5.1)$$

де T_{KB} – термін корисного використання основного засобу.

Визначаємо річну амортизацію в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок річної амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість ОЗ	Сума, грн
Гідравлічний прес	5	120000	6000
Вакуумна піч	5	1300000	65000
Фрезувальний станок	5	50000	2500
Разом	X	X	73500

Оскільки обладнання використовується 1 день підсумковий розмір амортизації розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{A_p}{365}, \text{ грн} \quad (5.2)$$

де A_p – річна амортизація.

Таким чином, загальна сума витрат по амортизації складе 201,40 грн.

За результатами проведених розрахунків встановлено, що вартість послуг з електропостачання протягом життєвого циклу проекту складе (табл. 5.7):

Таблиця 5.7 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Розрахунок на одиницю продукції, кВт	Виробнича програма	Обсяг послуг, кВт	Тарифи	Сума грн
Електропостачання при пресуванні зразків	0,25	6	1,5	1,68	2,50
Електропостачання при спіканні зразків	7,33		44	1,68	73,92
Електропостачання при розрізанні зразків на фрезувальному станку	0,07		0,43	1,68	0,76
Разом	X	X	X	X	77,18

Оскільки Україною ратифіковано міжнародний стандарт ISO 26000 «Керівництво із соціальної відповідальності», то в даному проекті також передбачаються інші витрати, а саме витрати по створенню умов праці:

- спецодяг (3 шт);
- захисні окуляри (3 шт).

Результати проведених розрахунків узагальнено в таблиці 5.8, яка за своїм змістом є кошторисом витрат та водночас розрахунком потреби в фінансових ресурсах (інвестиціях), необхідних для успішної реалізації даного проекту.

Отже розрахувавши кошторис витрат маємо витрати на проект у розмірі 1672,8грн.

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали:	
Порошок титановий (100-200мкм)	180
Порошок титановий (300-800мкм)	135
Електропостачання	77
Разом	392,2
Заробітна плата основних виробничих працівників	211
ЄСВ	46,4
Амортизація	201,40
Інші витрати	822
Повна собівартість	1672,8

Джерелами фінансування проекту передбачено: кошти університету, передбачені для здійснення науково-дослідних робіт; титановий порошок різного фракційного складу отримано від ПАТ «ІНСТИТУТ ТИТАНУ» згідно з господарським договором 2017 року.

Оскільки проект носить некомерційний характер, то розрахунок доходів не передбачається.

Цінність даного проекту, насамперед, полягає у задоволенні інтересів стейкхолдерів, зокрема:

- підприємств у отримання результатів дослідження з готовими рекомендаціями для поліпшення технологічного процесу виготовлення деталей, отримання кваліфікованих спеціалістів.

- закладів вищої освіти у отриманні кваліфікованого кадру на ринку праці.

Оскільки інтереси пріоритетних груп стейкхолдерів взаємопов'язані, тож реалізація даного проекту забезпечить збалансування їх інтересів, що є однією з основних ознак успішності реалізації проекту.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено вплив гранулометричного складу порошкового титану VT1-0 на структуру, щільність, твердість та корозійну стійкість виробів при постійному тиску пресування.

2. Аналіз макро- та мікроструктур та розрахунки щільності сплаву показали, що зі збільшенням розмірів часток порошку підвищилася пористість за рахунок зростання кількості та об'єму пор. Лише щільність зразку з фракцією порошку 100 мкм мала значення $4,33 \text{ г/см}^3$ і була наближена до щільності литого титану VT1-0 ($4,5 \text{ г/см}^3$). Щільність інших зразків була значно меншою. Подібну залежність від фракції сплаву мала твердість. Максимальне значення твердості мав зразок з мінімальними розмірами частинок порошку, мінімальне – при розмірі часток 800 мкм.

3. Результати корозійних випробувань показали, що при підвищенні пористості титану при збільшенні розмірності порошку, а також за рахунок виникнення несприятливих умов (зміна складу корозійного середовища, підвищення температури) корозійна стійкість VT1-0 суттєво змінювалася. В результаті порошковий титан із групи корозійностійких переходив до групи нестійких (згідно [34]). Для підвищення корозійної стійкості виробів можна запропонувати використання режимів або методів виробництва, що дозволять наблизити щільність порошкового сплаву з титану до щільності литого або замінити сплав на більш легований.

4. Результатом дослідницької роботи є можливість варіювання параметрами технології порошкової металургії, а саме гранулометричним складом, для отримання необхідного рівня пористості та властивостей порошкового титану.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Часть 1. Материаловедение. Стандарт третьего поколения / В.М. Александров. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2015. – 327 с.
2. Квагинидзе В.С. Технология металлов и сварка / Квагинидзе В.С. – Учебное пособие для вузов – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 565 с.
3. Барон Ю. М. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / Под ред. Ю. М. Барона. — СПб.: Питер, 2012. — 512 с.
4. Мутылина И.Н. Материаловедение. Цветные металлы и сплавы на их основе/ Мутылина И.Н. —Учебно-методический комплекс, 2016. – 156 с.
5. Электронный ресурс [режим доступа <https://gmk.center/posts/titanicheskiy-trud-kak-vozstanovit-potencial-titanovoj-otrasli-strany/>]
6. Илларионов А. Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов / Илларионов А. Г. Попов А. А. – Учебное пособие – Екатеринбург Издательство Уральского университета, 2014 – 136 с.
7. Справочник по цветным металлам. Электронный ресурс [режим доступа <https://libmetal.ru/titan/titan.htm>]
8. Анциферова И. В. Порошковые титановые материалы // Вестник ОГУ. 2004. № 2 – 198–202 . с.
9. Энциклопедия по машиностроению. Электронный ресурс [режим доступа <https://mash-xxl.info/info/118255/>]
10. Титов. А.В. Производство отливок из титановых сплавов: учеб. пособие / А.В. Титов; Нижегород. гос. техн. ун-т. им. Р.Е. Алек-сеева. – Нижний Новгород, 2015. – 132 с

11. Титан Галант. Электронный ресурс [режим доступа <https://titangalant.com.ua/titanovie-listy-v-sudostroenii>]
12. Анциферов В.Н. Спеченные сплавы на основе титана / В.Н. Анциферов, В.С. Устинов, Ю.Г. Олесов. – М.: Metallurgiya, 1984. – 168 с
13. Гуревич С.М. Metallurgiya и технология сварки титана и его сплавов / С.М. Гуревич, В.Н. Замков, Я.Ю. Компан, Н.А. Кушниренко, Г.К. Харченко, В.П. Прилуцкий. – К.: Наук. думка, 1979. – 300 с.
14. Boyer R.R., Slattery K.T., Chellman D.J., Phelps H.R., Recent Titanium Developments and Applications in the Aerospace Industry. Japan Institute of Metals, Sendai, Japan, 2007, pp. 1255–1263.
15. Ночовная Н.А. Тенденции развития и современное состояние исследований в области титановых сплавов / Н.А. Ночовная. В.Г. Анташев. – ВИАМ – 2008
16. Титан. Электронный ресурс [режим доступа http://titanen.ru/gde_primenyayut_titan]
17. Либерсон Г.А. Производство порошковых изделий: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.А. Либерсон. – М.: Metallurgiya, 1990. – 210 с.
18. Мажарова Г.Е. Производство изделий из порошков цветных металлов / Г.Е. Мажарова Г.А. Баглюк, А.В. Довыденко. – К.: Техника, 1989. – 120 с.
19. Анциферов В.Н. Спеченные сплавы на основе титана / В.Н. Анциферов, В.С. Устинов, Ю.Г. Олесов. – М.: Metallurgiya, 1984. – 168 с
20. INFOMINE Research Group. Обзор рынка титановых порошков и титановых таблетированных лигатур в СНГ/ INFOMINE Research Group – 2019 – 88 с.
21. Богодухов С.И. Получение и свойства порошковых материалов: учебное пособие / С.И. Богодухов, А.Д. Проскурин, Е.С. Козик. – Оренбург, ГОУ ОГУ, 2009. – 178 с.
22. Скребцов, А.А. Влияние содержания гидрированного титана в смеси порошков на механические свойства спеченного сплава ВТ1-0 / А.А. Скребцов,

А.В. Овчинников, В.Г. Шевченко, А.Е. Капустян, А.А. Джуган // Стародубовские чтения 2014. Сборник научных трудов. Строительство, материаловедение, машиностроение. 17-18 апреля 2014г. Днепропетровск. С 89-93.

23. Павленко, Д. Закономерности уплотнения титанових прессонок / Д. Павленко // Вісник двигунобудування/ Вестник двигателестроения : научно-технический . - 2018. - № 1. - 107-116 с.24. Жданович Г.М., Сидоров В.А., Бобруйко Ю.П. Смазка для прессования порошков титана. М.: Информаци ЦНИИЦветметаллургии, 1982, 33 с.

25. Ивасишин О.М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, К.А. Бондарева, В.С. Моксон, В.А. Дузь // Наука та інновації. — 2005. — Т. 1, № 2. — 44-57 с.

26. Лобода П. І. Вплив умов нагрівання на чистоту і властивості спеченого титану / П. І. Лобода, Є. Г. Биба, В. В. Чернявський. // Науково-технічний збірник «Проблеми тертя та зношування». – К.: НАУ. – 2011. – №55. – 152–158с.

27. Капустян А. Е. Влияние режимов прессования и спекания на пористость спеченных титановых изделий / А. В. Овчинников, В. В. Павлов, К. С. Шульга, В. Г. Шевченко // Обработка материалов давлением. — 2015. — № 2 (41) — С. 221-225

28. ГОСТ 9013-59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. — 1969. — 10 с.

29. Галицкий Б. А. Титан и его сплавы в химическом машиностроении / Б. А. Галицкий, М. М. Абелев, Г. Л. Шварц, Б. Н. Шевелкин ; Ред. Б.А.Галицкий. — Изд. 2-е, перераб. доп. — М. : Машиностроение, 1968. — 340 с.

30. Томашов, Н. Д. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы / Н. Д. Томашов, Чернова Г.П. - М. : Металлургия, 1986. - 359 с.

31. Коррозия титана. Электронный ресурс [режим доступа <https://www.okorrozii.com/korrozia-titana.html>]

32. Россина Н.Г. Коррозия и защита металлов. В 2 ч. 1. Методы исследований коррозионных процессов : учебно-методическое пособие/ Н.Г. Россина, Н.А. Попов, М.А. Жилиякова, А.В. Корелин. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019.— 108 с.

33. Друкер П. Задачи менеджмента в XXI веке. [пер. с англ.] М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. – 272 с.

34. ГОСТ 9.908 – 85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. М.: Изд-во стандартов, 1999. 17 с