

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
 ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз джерел забруднення титану
чубчастого та розробка заходів для підвищення
виходу товарного металу

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1360-мкн-з

спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія кольорових металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

О. М. Фролькіна

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н. Нестеренко Т. М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент проф. с.н.с. д.х.н. Труцьков Д. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія кольорових металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [Підпис]
« 25 » червня 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Фолькіна Олена Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проєкту) Аналіз джерел забруднення титану шубчастого та розробка заходів для підвищення виходу товарного металу
керівник роботи Нестеренко Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 30 » червня 2021 року № 975-с
- Строк подання студентом роботи 30.11.2021 р.
- Вихідні дані до роботи Титан шубчастий вищих марок (ТГ-90, і ТГ-100), в якому масова частка іона хлору не перевищує 0,08%.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Зміст. Вступ. 1 Аналітична частина. 2 Методика дослідження. 3 Дослідницька частина. 4 Охорона праці і технічна безпека. 5 Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилання.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Аналітична частина - 7 л. 2 Методика дослідження - 1 л.
3 Дослідницька частина - 5 л. 4 Охорона праці та технічна безпека - 1 л. 5 Економічна частина - 1 л.

6 Консультанти розділів роботи

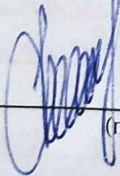
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Нестеренко Т.М., доцент	Меш 25.06.2021	Меш 26.10.2021
2	Нестеренко Т.М., доцент	Меш 25.06.2021	Меш 14.11.2021
3	Нестеренко Т.М., доцент	Меш 25.06.2021	Меш 19.11.2021
4	Нестеренко Т.М., доцент	Меш 25.06.2021	Меш 23.11.2021
5	Нестеренко Т.М., доцент	Меш 25.06.2021	Меш 30.11.2021

7 Дата видачі завдання 25 червня 2021 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.10.2021	Виконано
2	Аналітична частина	19.10.2021	Виконано
3	Методика дослідження	26.10.2021	Виконано
4	Дослідницька частина	12.11.2021	Виконано
5	Охорона праці та техногенна безпека	19.11.2021	Виконано
6	Економічна частина	23.11.2021	Виконано
7	Графічна частина	30.11.2021	Виконано

Студент



(підпис)

О.М. Релькіна

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



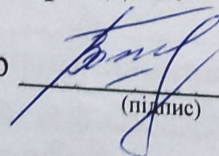
(підпис)

Т.М. Нестеренко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



(підпис)

Ф.М. Воляр

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 117 с., 26 рис., 27 табл., 57 джерела.

ДЕФЕКТИ ЗБЕРІГАННЯ, ДРОБЛЕННЯ, КОНДЕНСАЦІЯ ВОЛОГИ,
КОРОЗІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ КОНСЕРВАЦІЇ, ТИТАН ГУБЧАСТИЙ, ЯКІСТЬ.

Об'єкт дослідження – процеси переробки блоків титану губчастого і тривалого зберігання товарних партій у виробництві титану губчастого.

Предмет дослідження – вплив технологічних умов дроблення блоку титану губчастого та зберігання товарних партій металу на утворення поверхневих дефектів, що знижують вихід товарного металу

Мета роботи – дослідити особливості утворення дефектів зберігання титану губчастого та вибрати технологічні умови його консервації для тривалого зберігання без утворення дефектів зберігання.

Методи дослідження – рентгенофазовий, спектральний і електронно-мікроскопічний аналізи дефектів зберігання; визначення якості блоку губчастого титану, виявлення дефектних включень, розсіву та комплектування товарних партій; визначення корозійної активності; виявлення та спостереження за утворенням дефектів зберігання.

Одержані наслідки та їх новизна – дослідженням причин утворення дефектів зберігання титану губчастого встановлено, що виникнення дефектів зберігання титану губчастого зумовлено атмосферною корозією щільного типу, що протікає за електрохімічним механізмом і відповідає за характером руйнування корозії плямами з пітинговим початком через наявність залишкових хлоридів; зіставленням дефектів зберігання титану губчастого з аналогічними показниками дефектів виробництва виявлено значні розбіжності і показана відмінність дефектів зберігання і дефектів виробництва. Використане в даний час дробильне обладнання не відповідає вимогам, що висувають до дроблення титану губчастого, та є додатковим джерелом утворення дефектів зберігання.

Результати досліджень можна застосувати для підвищення виходу товарного титану губчастого шляхом вдосконалення технології консервації титану губчастого для тривалого зберігання.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	7
1 Аналітична частина.....	11
1.1 Властивості, області застосування та способи виробництва титану...	11
1.1.1 Фізико-хімічні, механічні та корозійні властивості титану.....	11
1.1.2 Основні області застосування титану таі його сплавів.....	13
1.1.3 Способи отримання титану.....	17
1.2 Джерела надходження домішок у титан губчастий під час його отримання магнієтермічним способом.....	20
1.3 Особливості взаємодії титану з газами.....	25
1.3.1 Адсорбція титаном газів, що входять до складу повітря.....	25
1.3.2 Хімічні взаємодії титану з газами.....	27
1.3.3 Адсорбція парів води поверхнею титану губчастого.....	33
1.4 Якість титану губчастого та вплив на нього технологічних чинників	35
1.5 Характеристика титану губчастого як об'єкта механічної обробки....	39
1.6 Методи переробки та сортування титану губчастого.....	42
1.7 Технологія переробки блоків титану губчастого та комплектування товарних партій.....	47
2 Методика дослідження.....	53
2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання.....	53
2.2 Методика визначення якості блоку губчастого титану.....	56
2.3 Методика виявлення дефектних включень.....	58
2.4 Методика розсіву та комплектування товарних партій.....	59
2.5 Методики аналізу дефектів зберігання губчастого титану.....	61
2.5.1 Методика рентгенофазового аналізу.....	61
2.5.2 Методика електронно-мікроскопічного аналізу.....	62
2.5.3 Методика спектрального аналізу.....	62
2.6 Методика визначення корозійної активності.....	62

2.7	Методика виявлення та спостереження за утворенням дефектів зберігання титану губчастого.....	64
3	Дослідницька частина.....	65
3.1	Дослідження фазового складу зразків титану губчастого з дефектами зберігання.....	65
3.2	Дослідження впливу умов дроблення губчастого титану на імовірність його окислення.....	69
3.3	Дослідження щодо утворенням дефектів зберігання титану губчастого.....	72
3.4	Ідентифікація дефектів зберігання методом корозійної активності....	78
3.5	Оцінювання способу пасивації поверхні губчастого титану для тривалого зберігання.....	83
3.6	Рекомендації щодо впровадження результатів досліджень.....	84
4	Охорона праці і техногенна безпека.....	87
4.1	Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	88
4.2	Виробнича санітарія.....	91
4.3	Заходи з поліпшення умов праці.....	91
4.4	Розрахунок вентиляції для видалення залишкової теплоти.....	93
5	Економічна частина.....	98
5.1	Організація виконання науково-дослідної роботи.....	98
5.1.1	Планування етапів науково-дослідної роботи.....	98
5.1.2	Визначення трудомісткості виконання науково-дослідної роботи.....	99
5.1.3	Визначення числа виконавців науково-дослідної роботи.....	100
5.1.4	Розрахунок тривалості етапів науково-дослідної роботи.....	100
5.1.5	Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи.....	101
5.2	Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження.....	103
5.2.1	Розрахунок витрат на основні матеріали.....	103

5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання.....	104
5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію.....	105
5.2.4 Розрахунок заробітної плати й відрахувань.....	106
5.2.5 Накладні витрати.....	109
5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	109
Висновки.....	111
Перелік джерел посилання.....	113

ВСТУП

В останні роки основними напрямками використання металевого титану та сплавів на його основі, що динамічно розвиваються, є аерокосмічна та медична галузі [1]. Ці галузі висувають жорсткі вимоги до механічних і корозійних властивостей металу. Титанові вироби отримують шляхом переплавлення титану губчастого. Висока якість титану губчастого є основою для високої якості отриманих з нього титанових виробів за умови дотримання технологічних режимів переплавлення титану і виготовлення з нього виробів.

Виробництво титану губчастого магнієтермічним способом склалося таким чином, що від вилучення його з герметичного реактора до переплавлення на компактний злиток проходить тривалий період часу. Впродовж переробки блоку титану в товарні партії внаслідок перепаду температур можлива об'ємна конденсація вологи з навколишньої атмосфери. Титан губчастий володіє розвиненою зовнішньою поверхнею через велику кількість пор, внаслідок чого утруднюється видалення вологи природним випаровуванням. Тому зволоження титану губчастого конденсатною вологою може бути скільки завгодно великим.

Наявність у магнієтермічному титані губчастому залишкового іона хлору, у вигляді, в основному, гігроскопічного хлориду магнію [2], підвищує вірогідність поглинання вологи поверхнею титану губчастого, також приводить до утворення хлористого водню. Хлороводень, розчиняючись в конденсатній воді, може вступати у взаємодію з титаном. Наслідки взаємодії з домішками для титану виявляються значно істотнішими, ніж для більшості інших широко використовуваних конструкційних матеріалів.

Очищення забрудненого титану губчастого від домішок є складною науково-технічною проблемою, що поки що не отримала промислового втілення в необхідних масштабах. Тому з початку організації промислового виробництва титану питання щодо підвищення якості та виходу товарного металу незмінно знаходяться в центрі особливої уваги. За минулий час середня твердість товарної титану губчастого знижена близько вдвічі та доведена до 90

одиниць НВ [3], що дозволило ввести на титанову продукцію, виготовлену в Україні, жорсткіші стандарти, ніж в більшості зарубіжних країн.

Вказані обставини створюють проблему, зумовлену утворенням так званих дефектів зберігання. В даному випадку мова йде про появу на поверхні окремих кусків титану губчастого забарвлених плям сіро-жовтого, бурого або сіро-блакитного кольору з різними проміжними відтінками. Ці дефекти виникають після достатньо тривалого перебування титану в герметичній тарі. Рідше за них виявляють і на губчастому титані, що знаходився в герметичній тарі в атмосфері повітря.

Дефекти зберігання забарвлені менш інтенсивно, ніж дефекти виробництва та дефекти, що утворилися в результаті високотемпературного окислення або азотування, і можна візуально відрізнити від останніх. Методи аналітичного контролю титану губчастого не виявляють відчутних змін у якості зразків з дефектами зберігання порівняно із зразками без них. Уявлення, що склалося, про губчастий титан як початковий матеріал для отримання компактного титану дає можливість його споживачам відносити дефекти зберігання до дефектів виробництва з погляду впливу їх на якість металу.

У зв'язку з тим, що умови зберігання титану губчастого впродовж багатьох років не змінювалися, а узгодженого уявлення про вплив дефектів зберігання на якість титанових злитків, що виплавляються, між споживачами і виробниками титану губчастого не опрацьовано, виникла необхідність додаткового вивчення питань, пов'язаних з утворенням дефектів зберігання.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської роботи – дослідити особливості утворення дефектів зберігання титану губчастого та вибрати технологічні умови його консервації для тривалого зберігання без утворення дефектів зберігання.

Завдання роботи:

1. Проаналізувати сучасний стан виробництва титану губчастого і джерела його забруднення.

2. Проаналізувати особливості взаємодії титану з газами, що входять до складу повітря.

3. Експериментально дослідити умови утворення дефектів зберігання губчастого титану під час оброблення його блоку для отримання товарних партій.

4. Експериментально дослідити вплив технологічних параметрів на утворення дефектів зберігання губчастого титану під час тривалого зберігання.

5. Запропонувати заходи щодо вдосконалення технології консервації титану губчастого для тривалого зберігання.

Об'єкт дослідження – процеси переробки блоків титану губчастого і тривалого зберігання товарних партій у виробництві титану губчастого.

Предмет дослідження – вплив технологічних умов дроблення блоку титану губчастого та зберігання товарних партій металу на утворення поверхневих дефектів, що знижують вихід товарного металу.

Наукова новизна:

1. Дослідженням причин утворення дефектів зберігання титану губчастого встановлено, що виникнення дефектів зберігання титану губчастого зумовлено атмосферною корозією щілинного типу, яка протікає за електрохімічним механізмом і відповідає за характером руйнування корозії плямами з пітинговим початком через наявність залишкових хлоридів.

2. Експериментальним зіставленням дефектів зберігання титану губчастого з аналогічними показниками дефектів виробництва виявлено значні розбіжності і показана відмінність дефектів зберігання і дефектів виробництва.

Практичне значення:

1. В умовах промислового підприємства ТОВ «ЗТМК» експериментально досліджено вплив технологічних параметрів дроблення титану губчастого на імовірність його окислення. Використане в даний час дробильне обладнання не відповідає вимогам, що висувають до дроблення титану губчастого, є додатковим джерелом утворення дефектів зберігання.

2. Експериментальними дослідженнями виявлено причини утворення дефектів зберігання титану губчастого. Рекомендовано відмовитися від використання аргону як захисної атмосфери при зберіганні титану губчастого та замінити його осушеним повітрям.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Властивості, області застосування та способи виробництва титану

1.1.1 Фізико-хімічні, механічні та корозійні властивості титану

Хімічний елемент «титан» розташований під номером 22 у IV групі 4-го періоду Періодичної системи елементів ім. Д. І. Менделєєва. Його атомна маса титану становить 47,9. Він утворює різні хімічні сполуки та є чотирьохвалентним у найважливіших і найстійкіших сполуках. За зовнішнім виглядом він нагадує сталь. Чистий метал є ковким і добре піддається механічній обробці тиском. У природі титан складається із суміші п'яти стабільних ізотопів, найширше представлений титан-48, його частка в природних рудах становить близько 73,99 % [1-3].

Хімічні сполуки титану. З одновалентними галогенами (фтором, бромом, хлором і йодом) він може утворювати ді-, три- і тетрасполуки із сіркою та елементами її групи (селеном, телуrom) – моно- і дисульфідиди, з киснем – оксиди, діоксиди і триоксиди. Титан утворить також сполуки з воднем (гідриди), азотом (нітриди), вуглецем (карбідиди), фосфором (фосфідиди), миш'яком (арсидиди), а також сполуки з багатьма металами – інтерметалідиди. Титан утворює не тільки прості, але і численні комплексні сполуки, відомо чимало його сполуки з органічними речовинами [4].

Титан – хімічно дуже активний метал. І в той же час титан є одним з деяких металів з високою корозійною стійкістю: він є практично вічним в атмосфері повітря, у холодній і киплячій воді, дуже стійким у морській воді, у розчинах багатьох солей, неорганічних і органічних кислотах. Хімічна активність титану за звичайних температур є надзвичайно малою, він практично не вступає в хімічні реакції. Протистоїть титан і ерозійній корозії, що відбуває внаслідок поєднання хімічного і механічного впливу на метал. У цьому відношенні він не поступається кращим маркам нержавіючих сталей,

сплавам на основі міді та інших конструкційних матеріалів. Титан є добре стійким до втомної корозії, що виявляється часто у вигляді порушень цілісності і міцності металу (розтріскування, локальні вогнища корозії та ін.).

В азотній кислоті, що є сильним окислювачем, у якому швидко розчиняються дуже багато металів, титан винятково стійкий. У соляній кислоті титан стійок лише в її розведених розчинах. У сірчаній кислоті слабкої концентрації (до 1 %) титан стійок навіть при температурі розчину до 50-95 °С. Титан слабо піддається корозії у киплячій «царській горілці», у якій, як відомо, багато металів (навіть золото) розчиняються майже миттєво.

У розплавах багатьох металів чистий титан виявляє добру стійкість: у рідких гарячих магнії, олові, галії, ртуті, літій, натрії, калії, у розплавленій сірці титан практично не кородує, і лише за дуже високих температур у розплавах за температур вище 300-400 °С швидкість його корозії в них може досягати 1 мм/рік. Однак є чимало агресивних розчинів і розплавів, у яких титан розчиняється дуже інтенсивно. Серед таких середовищ є плавикова кислота (HF). Навіть у 1 %-му її розчині швидкість корозії титану дуже висока, а в більш концентрованих розчинах титан «тане», як лід у гарячій воді. Не може протистояти титан кремнефтористоводневій і фосфорній кислотам навіть слабкої концентрації, перекису водню, сухим хлору і бромом, спиртам, у тому числі спиртовій настояці йоду, розплавленому цинку.

За фізичними і механічними властивостями титан є дуже тугоплавким металом. Температура плавлення титану становить 1668 ± 5 °С, кипіння – 3177 °С. За тугоплавкістю титан поступається лише таким металам, як вольфрам, тантал, ніобій, реній, молібден, платиноїди, цирконій.

Найважливішою особливістю титану як металу є його унікальні фізико-хімічні властивості: низька щільність, висока міцність, твердість та ін.

Титан – легкий метал, його щільність при 25 °С складає всього 4,505 г/см³, при 870 °С – 4,35 г/см³, при 900 °С – 4,32 г/см³ [3]. Титан відносять до групи легких кольорових металів. Титан має значну твердість: він у 12 разів твердіший за алюміній. Ще одна важлива характеристика металу – межа

плинності. Чим вона вища, тим краще деталі з цього металу протидіють експлуатаційним навантаженням. Межа плинності титану майже в 18 разів вища, ніж в алюмінію. Питома міцність сплавів титану може бути підвищена в 1,5–2 рази. Його високі механічні властивості добре зберігаються при температурах до кількох сотень градусів. Чистий титан придатний для будь-яких видів обробки в гарячому і холодному стані: його можна кувати, як залізо, витягати і навіть робити з нього дріт, прокочувати в аркуші, стрічки, у фольгу товщиною до 0,01 мм.

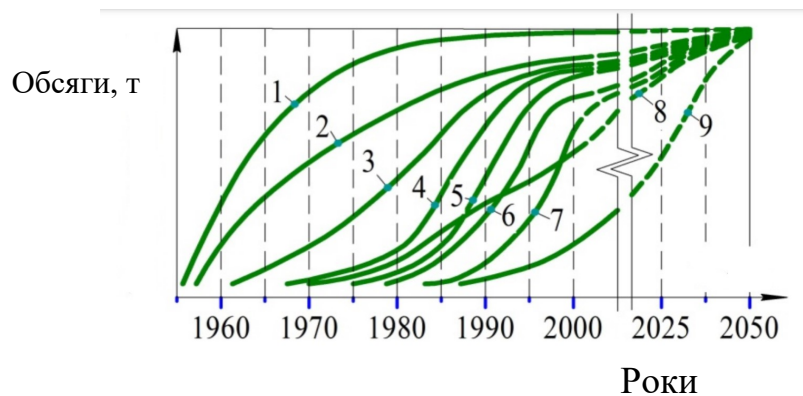
Титан володіє порівняно низькою теплопровідністю, близько 22,07 Вт/(м·К), що близько в 3 рази нижча за теплопровідність заліза, в 7 разів – магнію, в 17–20 разів – алюмінію і міді. Відповідно і коефіцієнт лінійного термічного розширення в титану нижчий, ніж у інших конструкційних матеріалів: при 20 °С він у 1,5 рази нижчий, ніж у заліза, у 2 рази – у міді і майже в 3 рази – у алюмінію. Отже, титан є поганим провідником електрики і теплоти.

Титан – парамагнітний метал: він не намагнічується, як залізо, у магнітному полі, але і не виштовхується з нього як мідь. Його магнітна сприйнятливість дуже слабка. На відміну від більшості металів титан володіє значним електроопором: якщо електропровідність срібла прийняти за 100, то електропровідність міді дорівнює 94, алюмінію – 60, заліза і платини –15, а титану-всього 3,8 [2].

1.1.2 Основні області застосування титану та його сплавів

Металевий титан має дві основні сфери застосування: аерокосмічну і цивільну. Цивільна сфера, де може бути використаний титан, надзвичайно велика. Титан має велику перевагу перед іншими металами там, де потребуються висока корозійна стійкість, жароміцність, термостійкість, високі питомі механічні властивості і мала щільність.

В останні роки основними напрямками використання металевого титану та сплавів на його основі, що динамічно розвиваються, є аерокосмічна та медична галузі (рис.1.1). Ці галузі висувають жорсткі вимоги до механічних і корозійних властивостей металу. Титанові вироби отримують шляхом переплавлення титану губчастого. Висока якість титану губчастого є основою для високої якості отриманих з нього титанових виробів за умови дотримання технологічних режимів переплавлення титану і виготовлення з нього виробів.



- 1 – літако-, вертольото-, ракетобудування, космічна техніка;
 2 – хімія, нафтехімія, металургія, гальванотехніка, целюлозно-папірова промисловість, поліграфічне виробництво, харчова, фармацевтична, мікробіологічна галузі; озброєння; 3 – турбінобудування;
 4 – теплообмінна та опріснювальна техніка; 5 – медтехніка;
 6 – нафтогазове обладнання, 7 – захоронення радіоактивних відходів;
 8 – суднобудування, електронна та акустична техніка, велосипедобудування, залізничний транспорт, спорттовари, будівництво та архітектура, верстатобудування, легка промисловість;
 9 – автомобілебудування

Рисунок 1.1 – Напрями використання титану [1]

Титан у вигляді феротитану використовують як легуючу добавку до якісних сталей і як розкислювач. Технічний титан йде на виготовлення ємностей, хімічних реакторів, трубопроводів, арматури, насосів, клапанів та інших виробів, що працюють в агресивних середовищах. З компактного титану виготовляють сітки та інші деталі електровакуумних приладів, що працюють при високих температурах.

По використанню як конструкційний матеріал титан знаходиться на 4-му місці, поступаючись лише Al, Fe і Mg. Алюмініди титану є дуже стійкими до окислення і жароміцні, що в свою чергу визначило їх використання в авіації і автомобілебудуванні в якості конструкційних матеріалів. Біологічна нешкідливість титану робить його чудовим матеріалом для харчової промисловості і відновної хірургії.

Титан і його сплави знайшли широке використання в техніці через свої високі механічні міцності, яка зберігається при високих температурах, корозійної стійкості, жароміцності, питомої міцності, малої щільності й інших корисних властивостей. Висока вартість титану та його сплавів у багатьох випадках компенсується їх більшою працездатністю, а в деяких випадках вони є єдиним матеріалом, з якого можна виготовити обладнання або конструкції, здатні працювати в даних конкретних умовах.

Титанові сплави відіграють велику роль в авіаційній техніці, де прагнуть отримати найбільш легку конструкцію у поєднанні з необхідною міцністю. Титан-легкий у порівнянні з іншими металами, але в той же час може працювати при високих температурах (див. рис.2). З титанових сплавів виготовляють обшивку, деталі кріплення, силовий набір, деталі шасі, різні агрегати. Також дані матеріали застосовуються в конструкціях авіаційних реактивних двигунів. Це дозволяє зменшити їхню масу на 10...25%. З титанових сплавів виготовляють диски і лопатки компресора, деталі повітрязбірника і направляючого апарату, кріплення.

Також титан і його сплави використовують в ракетобудуванні. Зважаючи короткочасної роботи двигунів і швидкого проходження щільних шарів атмосфери в ракетобудуванні значною мірою знімаються проблеми втомної міцності, статичної витривалості і частково повзучості.

Технічний титан завдяки високому опору корозії в ряді випадків незамінний у хімічній промисловості та суднобудуванні. Так його застосовують при виготовленні компресорів і насосів для перекачування таких агресивних середовищ, як сірчана і соляна кислоти та їх солі, трубопроводів, запірної

арматури, автоклав, різного роду ємностей, фільтрів та ін. Титан володіє корозійною стійкістю в таких середовищах, як вологий хлор, кислі водні розчини хлору, тому з цього металу виготовляють обладнання для хлорної промисловості. З титану роблять теплообмінники, що працюють в корозійно-активних середовищах, наприклад в азотній кислоті (що не димить). У суднобудуванні титан використовується для виготовлення гребних гвинтів, обшивання морських суден, підводних човнів, торпед тощо.

Титан знайшов застосування практично у всіх сферах життєдіяльності людини: авіації, ракетно-космічної галузі, кріогенної техніки, суднобудуванні, хімічній і атомній промисловості, енергетиці, автомобілебудуванні, медицині, будівництві, металургії, товарах народного призначення.

Титанові сплави мають цінний комплекс фізико-хімічних і механічних властивостей: високу питому міцність, задовільну пластичність при кімнатній, підвищеній і мінусовій температурах, хорошу зварюваність, малий коефіцієнт лінійного розширення, високу корозійну стійкість у ряді агресивних середовищ та ін. У зв'язку з цим титанові сплави знаходять широке застосування в авіабудуванні, суднобудуванні, хімічному машинобудуванні й інших галузях техніки.

Нелегований титан має недоліки, що обмежують застосування його в чистому вигляді. До вказаних недоліків відносяться порівняно невисока міцність і досить швидке разупорядкування металу зі зростанням температури, а також схильність металу до повзучості, знижені втомна міцність і корозійна стійкість в деяких агресивних середовищах. Вказані недоліки можна значною мірою усунути шляхом легування титану, в результаті якого його міцнісні характеристики можуть бути доведені до рівня легованих сталей і істотно підвищена корозійна стійкість.

За структурою титанові сплави класифікують на однофазні α - і β -сплави, псевдофазні і двофазні ($\alpha+\beta$)-сплави. Фазовий склад титанових сплавів залежить від легуючих елементів і їх кількості. Дію легуючих елементів

характеризують по їх впливу на температуру поліморфного перетворення титану [1,4,5].

У промисловості використовують ливарні та деформівні титанові сплави, також порошкові (гранильні).

1.1.3 Магнієтермічний спосіб виробництва титану губчастого

Вихідним матеріалом для виробництва титану і його сполук є діоксид титану з порівняно невеликою кількістю домішок. Зокрема, це може бути рутиловий концентрат, що одержують під час збагачення титанових руд. Проте запаси рутилу в світі досить обмежені, і частіше застосовують так званий синтетичний рутил або титановий шлак, що одержують при переробці ільменітових концентратів. Для отримання титанового шлаку концентрат ільменіту відновлюють в електродугової печі, при цьому залізо відокремлюється в металеву фазу (чавун), а не відновлені оксиди титану і домішок утворюють шлакову фазу. Багатий шлак переробляють хлоридним або сірчаноокислотним способом [6-14].

Концентрат титанових руд піддають сірчаноокислотній або пірометалургійній переробці. Продукт сірчаноокислотної обробки – порошок діоксиду титану TiO_2 . Магнієтермічним методом руду спікають з коксом і обробляють хлором, отримуючи пари тетрахлориду титану $TiCl_4$. Утворені пари тетрахлориду титану при $850\text{ }^\circ\text{C}$ відновлюють магнієм.

Магнієтермічний спосіб (процес Кроля) в даний час є найпоширенішою комерційною технологією виробництва титану губчастого, також стандартом для порівняння з новими технологіями. Це єдина промислова технологія, за якою виробляється титан в Україні. Спосіб ґрунтується на відновленні тетрахлориду титану розплавленим магнієм у герметичній нержавіючій реторті, заповненій аргоном та нагрітій до температури $800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ [4-6]. Надлишок магнію становить $35\text{--}40\%$, є необхідним для максимально повного відновлення тетрахлориду титану. Хоча більша частина хлориду магнію (частково з

магнієм) зливається під час процесу, на завершення відновлення титан губчастий містить у своїх порах залишковий магній та його хлорид. Щоб вилучити магній і хлорид магнію з пор губчастого металу, проводять вакуумну сепарацію (або вилуговування). За такою технологією частина титану губчастого забруднюється під час контакту зі стінками реактора [7].

Технологічна схема отримання титану губчастого магнієтермічним способом надана на рис. 1.2.

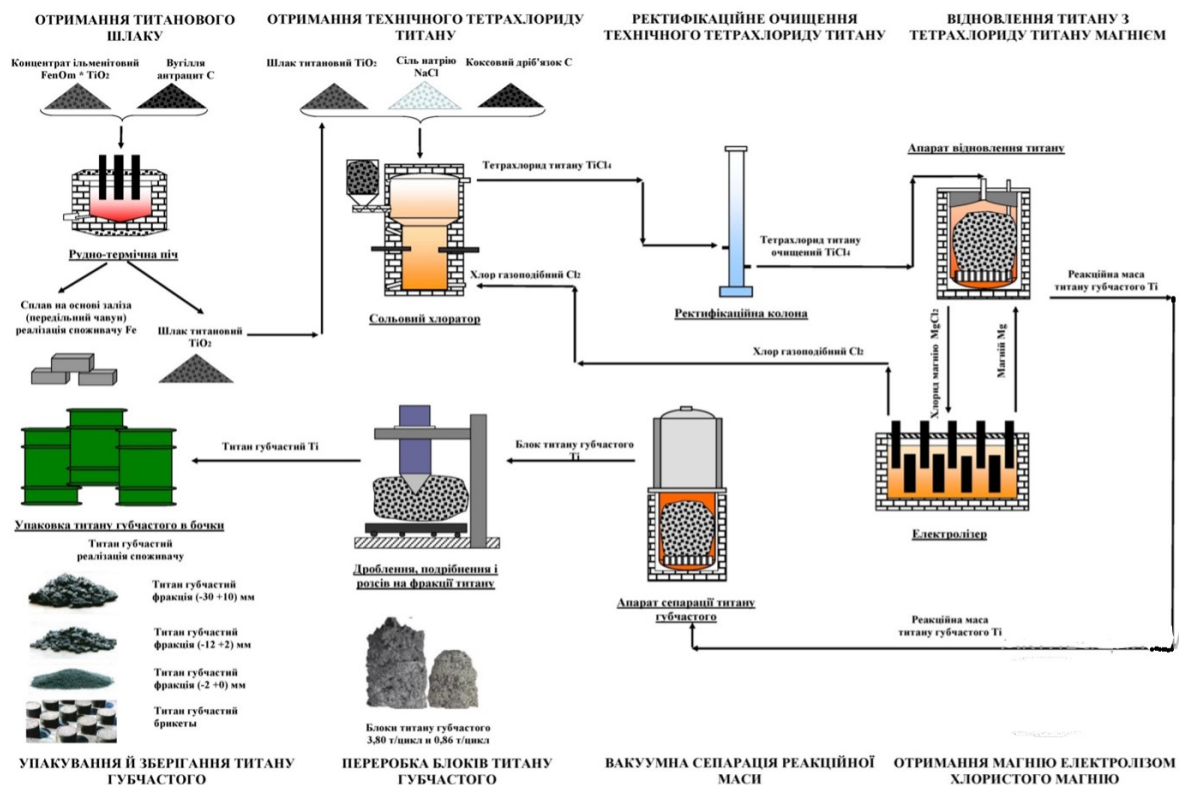


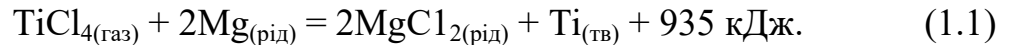
Рисунок 1.2 – Апаратурно-технологічна схема виробництва титану губчастого титану магнієтермічним способом

Відновлення тетрахлориду титану проводять періодично в циліндричних сталевих герметичних ретортах діаметром від 850 до 1500 мм і висотою від 1800 мм до 3000 мм. Такий обсяг реторти дозволяє отримувати за одну операцію до 1,5 т титану губчастого [5].

Реторти встановлюють вертикально зазвичай в електричну піч опору. Зверху реторта закрита кришкою, що має патрубки для завантаження магнію,

подачі тетрахлориду титану, відкачування повітря і підведення аргону.

Після установки реторти в піч і відкачування з неї повітря вона заповнюється висушеним аргоном і нагрівається до 740-800 °С, після чого в неї заливають рідкий магній і починають подачу рідкого тетрахлорида титану. Процес отримання титану можна спрощено представити рівнянням:



Після інтенсивного розвитку реакції вимикають нагрів і підтримують температуру в межах 750-850 °С. Титан виділяється в реторті у вигляді добре розвинених дендритів, які отримали назву титан губчастий (або титанової губки). Титанова губка дробиться і ретельно сортується. Найбільш чиста губка йде на переплавку; низькосортна, що містить включення хлоридів, брикетується і використовується як розкиснювач сталі в чорній металургії.

Для отримання з титану і його сплавів відповідальних виробів дуже важлива його хороша пластичність і зварюваність, а також термостійкість [13,14]. Для виготовлення титанових злитків застосовують дугове, електронно-променеве або плазмове переплавлення.

Титанові продукти та компоненти виробляються переважно в США, Росії, Японії та Китаї, а їх щорічний обсяг виробництва складає більше 100 тис. т [15]. У світовій титановій промисловості, яка відповідає швидко зростаючому попиту з боку виробників літаків і виготовлювачів промислового обладнання (рис.1.3), продовжують створюватися нові потужності з виробництва титанової губки, особливо в Китаї.

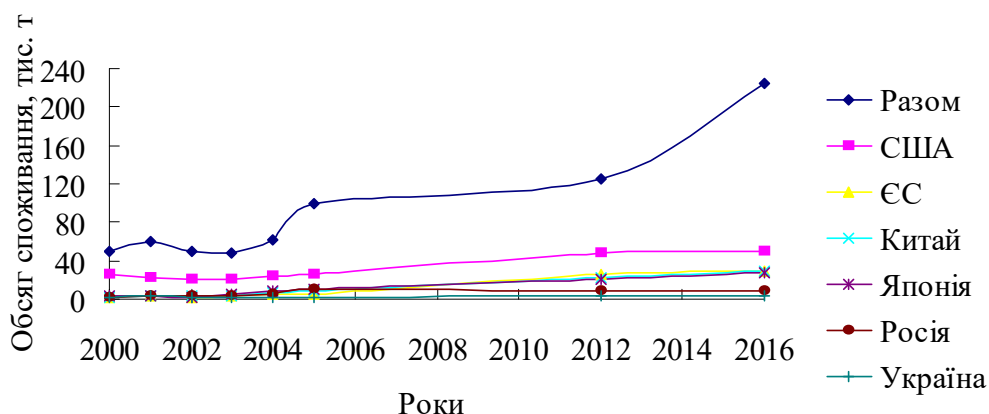


Рисунок 1.3 – Динаміка світового споживання титану протягом 2000-2016 рр.

Виробництво губки збільшилося з 74 тис.т у 2003 р. до 176 тис.т в 2008 р. [15]. Наприкінці 2008 р. глобальний економічний спад і затримки виробництва авіалайнерів А380 і В787 викликали гостре падіння попиту на титан, в той час як нові проекти титану губчастого наближалися до завершення. У результаті в 2009 р. і 2010 р. потужності з виробництва губки були зайвими, в Китаї були закриті деякі заводи, а світове виробництво впало до 120 тис.т. До середини 2010 р. стало ясно, що попит на титанову губку в Китаї сильно виріс, і світове виробництво, згідно з оцінками, склало 150 тис.т [15].

У 2012 році в США виробник титанової губки в Роулі, штат Юта, закінчив процес кваліфікації стандартного сорту, необхідний для того, щоб виробляти титан для космосу, індустриальних і медичних засобів. Новий проект з виробництва порошку титану потужністю 1800 т щорічно наближається до завершення в Оттаві (штат Іллінойс). Новий виробничий об'єкт з отримання титану був відкритий в Мартінсвілль (штат Вірджинія), і призначений для виробництва титанових продуктів для комерційної авіакосмічної промисловості. Очікувана продуктивність складе 6300 т щорічно [16].

1.2 Джерела надходження домішок у губчастий титан під час його отримання магнієтермічним способом

Титан губчастий, отриманий за магнієтермічною технологією, постачають споживачам у вигляді кусків неправильної форми, що мають такі розміри: (-30 +12) мм, (-25 +12) мм, (-12 +2) мм, (-12 +5) мм, (-5 +2) мм, (-2 +0) мм, (-2 +1) мм. Титан губчастий пакують в сталеві бочки місткістю 0,25 м³. Хімічний склад титану губчастого та його характеристика приведено в табл.1.1.

У губчатому титані в якості основних домішок присутні: кисень, азот, залізо, хлор, вуглець. кремній, нікель, магнії, водень. Концентрація домішок в губчатому титані неоднакова в різних партіях металу і в пробах, відібраних з однієї партії. Підвищена неоднорідність титанової губки ускладнює створення великих виробів, що вимагають рівної міцності в усіх своїх частинах.

Таблиця 1.1 – Характеристика губчастого титану [2]

Марка	Хімічний склад титану губчастого								Твердість по Бринеллю, НВ не більше
	Масова частка Ti, % не менше	Масова частка домішок, % не більше							
		Fe	Si	Ni	C	Cl	N	O	
ТГ-90	99,74	0,05	0,01	0,04	0,02	0,08	0,02	0,04	90
ТГ-100	99,72	0,06	0,01	0,04	0,03	0,08	0,02	0,04	100
ТГ-110	99,67	0,09	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,05	110
ТГ-120	99,64	0,11	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,06	120
ТГ-130	99,56	0,13	0,03	0,04	0,03	0,10	0,03	0,08	130
ТГ-150	99,45	0,2	0,03	0,04	0,03	0,12	0,03	0,10	150
ТГ-ТВ	97,75	1,9	-	-	0,10	0,15	0,10	-	-

Якість титану, як і інших металів, оцінюють за механічними властивостями, зокрема, для нього твердість може бути узагальнюючим показником якості. Чим вище твердість титану, тим нижче його якість (табл. 1.2). Не всі домішки в однаковій мірі впливають на механічні властивість титану.

Таблиця 1.2 – Приріст твердості по Бренелю НВ титану залежно від концентрації домішок [3]

Концентрація домішки, %	Приріст твердості НВ при вмісті домішок				
	N	O	C	Fe	Si
0,01	8,2	6,7	4,4	2,6	0,7
0,02	16,0	3,0	8,8	5,0	1,4
0,03	23,0	13,0	13,2	7,3	2,1
0,04	29,6	13,8	17,2	9,4	2,8
0,05	36,0	24,4	21,0	11,3	3,5
0,06	42,4	29,6	24,6	13,1	4,2
0,07	48,6	34,8	27,8	14,7	4,9
0,08	54,4	40,0	31,0	16,3	5,6
0,09	59,8	45,0	34,0	17,7	6,3
0,10	65,0	50,0	37,0	19,0	7,0
0,12	74,2	55,0	42,5	21,4	8,4
0,14	83,0	64,0	45,6	23,8	9,8
0,16	91,6	72,0	48,2	26,0	11,2
0,18	100,0	80,0	50,1	28,1	12,6
0,20	108,4	96,0	51,9	29,9	14,0

Користуючись правилом аддитивності, за наведеними даними можна розрахувати концентрацію домішки в тому випадку, якщо є дані по концентрації всіх інших основних домішок. Такий непрямий метод визначення концентрації будь-якої домішки містить в собі помилки, можливі при визначенні всіх інших домішок, однак при іціночних розрахунках ним можна користуватися [17].

Джерела надходження домішок в губчастий титан різні (рис.1.4). Основними з них є вихідні речовини – магній і тетрахлорид титану. Деяка частина азоту і кисню потрапляє в губку і період проведення процесів відновлення і вакуумної сепарації, а також у результаті сорбції губкою газів і парів з повітря в період її переробки та зберігання.

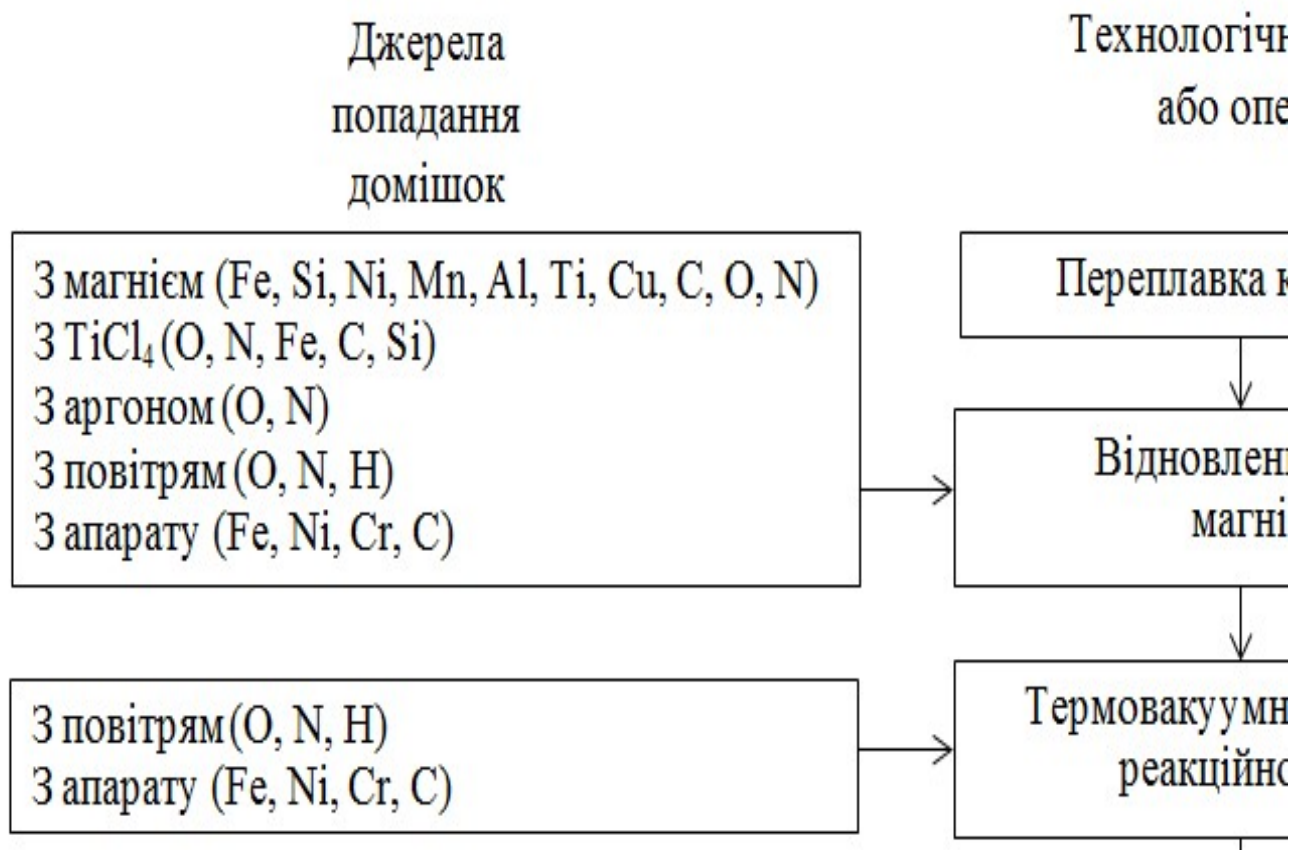


Рисунок 1.4 – Схема руху основних домішок при магнієтермічному виробництві титану губчастого

Кисень попадає в титан губчастий з води, яку адсорбують при контакті з повітрям реакційна маса, конденсат, губка, а також внутрішні поверхні деталей основного обладнання. У процесі відновлення та сепарації в губку з матеріалу реактора переходить залізо, нікель, хром, частково вуглець. Вплив джерел забруднення на кількість домішок, що надходить, від загальної кількості в титані губчастому надано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Вплив джерел забруднення на кількість домішок у титані губчастому [3]

Джерело або причина забруднення титану губчастого	Кількість домішки, що надходить, від загальної кількості у титані губчастому, %				
	O	N	Fe	C	Si
Тетрахлорид титану	1	3	1–2	60	20–30
Магній	45–60	10–15	70	25–30	60
Аргон	1	1	–	–	–
Негерметичність апаратури	4–6	35–45	–	–	–
Матеріал апаратури	–	–	25–30	–	–
Зволоження титану губчастого	7–10	–	–	–	–
Інші джерела або причини	30–40	35–40	–	10–15	15

Концентрацію домішки, що потрапила в блок титанової губки (у % від маси блоку) з вихідних речовин, можна розрахувати за рівнянням:

$$C = \frac{C_1}{\eta} + 4C_2, \quad (1.2)$$

де C_1 і C_2 - концентрація домішки в магнії і тетрахлориді титану, %;

η - коефіцієнт використання магнію.

Домішки, що містяться в аргоні (в основному азот і кисень), також переходять в титан. Їх кількість (% від маси блоку), що потрапляє в губку можна розрахувати за рівнянням:

$$C = \frac{V \cdot a \cdot M}{22,4 \cdot 10^4}, \quad (1.3)$$

де V – витрата аргону на 1 т титану;

a – концентрація домішки в аргоні, %;

M – молекулярна маса домішки.

Забруднення залізом в процесі відновлення може істотно впливати на якість губки. При відхиленні процесу від нормального навіть з дуже чистих вихідних речовин може бути отриманий метал низької якості внаслідок підвищеної концентрації заліза. Залізо може потрапити з матеріалу реактора в титан в процесі відновлення трьома способами [18]:

- а) дифузний безпосередньо в губку, яка утворюється на стінках реактора;
- б) внаслідок розчинення в магнії;
- в) через газову фазу в результаті взаємодії з тетрахлоридом титану.

Губка, яка знаходиться поблизу стінок і на дні реактора, містить заліза значно більше, ніж губка, що знаходиться в центральних зонах. Частина заліза у вигляді хлориду потрапляє в хлорид магнії і зливається разом з ним з реактора. З хлоридом магнію частково видаляються з реактора та інші домішки, що надходять з вихідними речовинами (азот, вуглець, кисень).

Натікання повітря внаслідок нещільності апарату вакуумної сепарації є одним з головних джерел азоту в губчастому титані. Зниження норм натікання – важливе завдання вдосконалення конструкції і технології складання апарату перед проведенням процесу вакуумної сепарації.

Після вакуумної сепарації в титановій губці залишається до 0,2 % хлору в складі хлористих солей. Остаточний іон хлору (в промисловості його називають хлором) можна розділити на дві категорії: «поверхневий» хлор, що вилуговується з губки розчином азотної кислоти, і «внутрішній» хлор, що залишається після вилуговування. Останній визначають, повністю розчинюючи губчастий титан в плавиковій кислоті [19].

Хлор як домішка в титані губчастому може міститися у вигляді хлориду магнії і частково – нижчих хлоридів титану, розчинених у хлориді магнію. Носієм хлору можуть бути й інші більш важколетучі хлориди кальцію, натрію і калію, які потрапляють в реактор разом з електролітичним магнієм. Якщо ці хлориди містяться у хлориді магнію, то впродовж вакуумної сепарації конденсована фаза збагачується ними, особливо хлоридом кальцію. Мабуть

хлорид кальцію може бути у деякій мірі причиною підвищеної концентрації хлору в титані губчатому.

Джерелом внутрішнього хлору, що не видаляється, можуть бути також поверхневі хімічні сполуки субхлоридного типу. Їх утворення цілком імовірно в той період нагріву титанової губки, коли в ній відбувається фазове перетворення $\alpha\text{-Ti} \rightarrow \beta\text{-Ti}$ і виникають дефекти мікрорельєфу титану зі збільшенням числа центрів адсорбції. У газовій фазі, що оточує титан під час вакуумної сепарації, містяться HCl і TiCl_4 , які здатні взаємодіяти з активними центрами на поверхні титану і утворювати поверхневі сполуки типу $\text{Ti}(\text{TiCl}_2)$. Оскільки кристалічна решітка TiCl_2 розмірно відповідає структурі $\alpha\text{-Ti}$, самостійна фаза TiCl_2 може міцно утримуватися нижчерозташованими поверхневими шарами титанової основи, а характер зв'язку від металевої до іонної змінюється поступово. З цих причин поверхневі сполуки, що дуже міцно пов'язані з металевою підкладкою, практично не видаляються при вакуумній сепарації. Можливо, що у виробництві губчастого титану мають значення всі розглянуті вище джерела домішки хлору, чим і обумовлюється нерівномірний розподіл її у титані.

1.3 Особливості взаємодії титану з газами

1.3.1 Адсорбція титаном газів, що входять до складу повітря

Молекули газів, вдаряючись об поверхню твердого тіла, затримуються на ній деякий час і відбувається адсорбція газів поверхнею. Зв'язок між молекулами газів і поверхнею адсорбенту визначається електростатичною силами.

Поверхнева фізична адсорбція властива всім газам і залежить в основному від стану поверхні, а також природи адсорбента. З підвищенням температури фізична адсорбція зменшується. Процес фізичної адсорбції зворотний. При підвищенні температури фізична адсорбція поступово

перетворюється на активовану. Подальше підвищення температури прискорює процес активованої адсорбції і призводить до збільшення кількості адсорбованого газу. При активованій адсорбції вирішальну роль мають сили хімічної взаємодії.

При взаємодії титану з газами, що входять до складу повітря, переважають реакції взаємодії титану з киснем і азотом. Концентрація азоту в повітрі вище, ніж кисню, проте останній має більшу спорідненість до титану, ніж азот.

У зв'язку з тим, що на поверхневому шарі титану існує електронна хмара слабо пов'язаних електронів, що створюють інтенсивне електричне поле, в першу чергу, на поверхні буде адсорбуватися кисень, утворюючи мономолекулярний оксидний шар. Цей шар на поверхні довго існувати не може так, як при зіткненні з металом атоми кисню переходять в негативно заряджені іони, а атоми металу – в позитивно заряджені іони. При цьому виникає подвійний електричний шар з певною напруженістю поля, яке буде викликати рух нових іонів металу і електронів через даний шар. У результаті цього відбуватиметься подальша адсорбція газових шарів.

Враховуючи властивості і концентрацію різних газів, що входять до складу повітря, можна уявити, що на повітрі титан вступає у хімічну реакцію з киснем. Над оксидним шаром, що утворився, адсорбуються пари води, далі азот, неон, аргон, вуглекислий газ, в невеликому ступеню водень. Вода, що поглинена поверхнею титанової губки і хлористим магнієм, погіршує якість металу, забруднюючи її киснем і воднем [18].

Менша швидкість десорбції парів при 200 °C викликає більшу тривалість контакту води і титану [20]. Десорбція води при 20 °C протікає повільніше, ніж при більш високій температурі, тому доцільно видалити основна кількість води при 20 °C, а потім підвищити температури губки до 200 °C.

Якщо до процесу плавки в титановій губки залишилося лише 0,01 % води, то і це приводитиме до підвищення твердості титану на 5 одиниць за Бринелем. Отже, після сепарації титанову губку необхідно оберегти від контакту з

вологим повітрям, а перед плавкою видаляти адсорбовану воду – проводити попередню дегазацію [19,21].

1.3.2 Хімічні взаємодії титану з газами

Титан вступає у взаємодію з киснем при всіх температурах. При надлишку кисню утворюється діоксид титану TiO_2 , в інших умовах – TiO і Ti_2O_3 . Адсорбційний шар, що утворився при кімнатній температурі, складається із хімічно пов'язаного кисню і надбудови слабо пов'язаних з поверхнею атомів газів.

У початковий період процесу на швидкість росту оксидної плівки в основному впливає температура. Поверхня титану окислюється головним чином протягом перших 1...2 год. Подальша витримка при температурах до $300\text{ }^\circ\text{C}$ призводить до незначної зміни стану поверхні. Це пов'язано із захисними властивостями оксидної плівки.

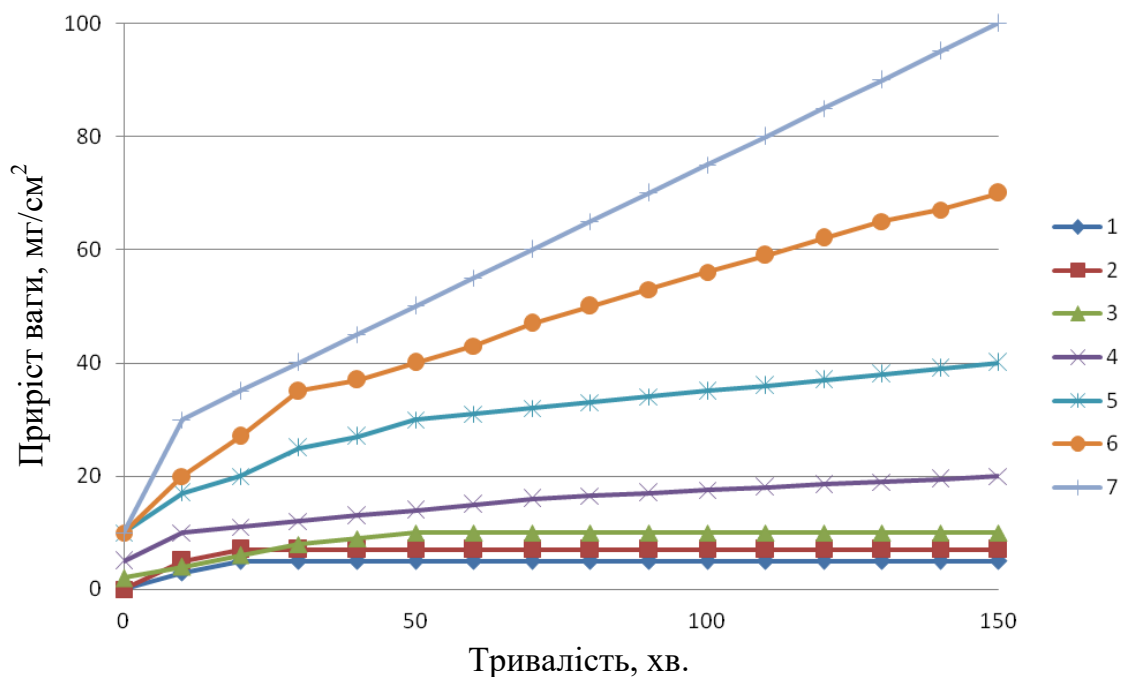
При температурах більше $400\text{ }^\circ\text{C}$ структура плівки порушується, швидкість окислення титану різко зростає завдяки збільшенню швидкості дифузії іоном кисню з поверхні в глиб металу.

На рис. 1.5 наведено дані швидкості окислення титану при $250\text{...}600\text{ }^\circ\text{C}$. Окислення титану на повітрі протікає більш інтенсивно, ніж у чистому кисні внаслідок присутності азоту, який сприяє утворенню дефектів у ґратах оксиду і підвищує швидкість окислення. Взаємодія титану з киснем супроводжується утворенням не тільки оксидної плівки, а й газонасиченого шару.

В системі $Ti-O$ перітерического типу, шари твердого розчину кисню, в титані є міцні хімічні сполуки TiO , Ti_2O_3 , TiO_2 і оксиди проміжного складу Ti_3O_2 , Ti_3O_5 , TiO та Ti_3O [22,23].

Оксиди титану мають наступну забарвлення: TiO – безбарвні, синій. У формі анатазу – коричнево-чорний, у формі брукіта – білий; TiO – жовтий або чорний; Ti_2O_3 – фіолетово-чорний або червоний. При температурі $800\text{ }^\circ\text{C}$ процес окислення підпорядковується параболічній закономірності з постійною

константою швидкості реакції при даній температурі, а при температурі більше 800 °C після закінчення деякого часу може спостерігатися раптове збільшення швидкості окислення. При цьому окислення також підпорядковується параболічного закону, але константа швидкості має інше значення. Збільшення швидкості окислення відбувається в результаті руйнування оксидної плівки на титані. Швидкість дифузії титану через оксидну плівку в порівнянні з швидкістю дифузії кисню дуже мала. Однак при підвищенні температури дифузії титану збільшується.



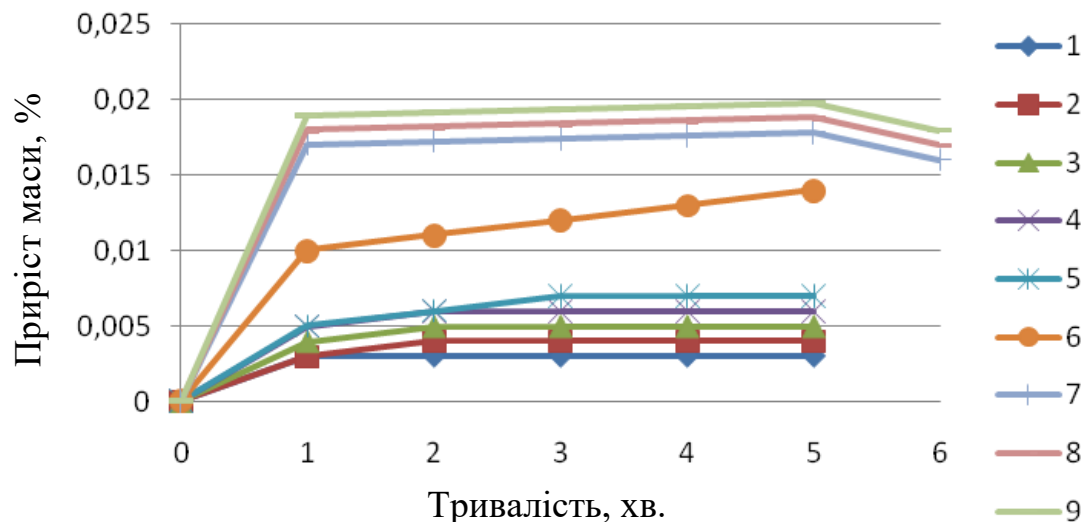
1 – 250 °C; 2 – 300 °C; 3 – 400 °C; 4 – 450 °C; 5 – 500 °C; 6 – 550 °C; 7 – 600 °C

Рисунок 1.5 – Залежність приросту ваги титану від тривалості окислення та температури

Встановлено, що критичний тиск, нижче якого відбувалося зменшення швидкості окислення титану, дорівнює 46,5 Па. При цьому до поверхні надходить кисню менше, ніж витрачається в процесі дифузії метал.

У результаті хімічної взаємодії титану з азотом утворюється нітрид титану. На повітрі до 300 °C титан незначно взаємодіє з азотом, так як оксидна плівка на титані перешкоджає цьому. З підвищенням температури до 400 °C

порушується структура поверхневої оксидної плівки. В результаті взаємодія титану з азотом повітря інтенсифікується. На рис. 1.6 наведені криві, що характеризують взаємодію азоту з титаном при 50-400 °С. До 550 °С дифузія азоту в глиб металу протікає повільно. Але різко активізується при 700 °С. В системі Ti-N є область твердого розчину азоту, фаза на основі мононітрида титану і фаза на основі нітриду титану імовірно складу Ti_3N . Мононітрид титану володіє великою областю гомогенності. Нітрид титану, виявлений в сплавах при температурі до 1050 °С, має вузьку область гомогенності в межах 6,8-8,9 % з N і кристалізується в тетрагональній системі.



1 – 50 °С; 2 – 100 °С; 3 – 200 °С; 4 – 300 °С; 5 – 50 °С;

6 – 100 °С; 7 – 200 °С; 8 – 300 °С; 9 – 400 °С

Рисунок 1.6 – Залежність приросту маси азоту в титановому порошок після витримки на повітрі (1-4) і в середовище азоту (5-9) від часу та температури

Мононітрида титану TiN (22,6 % азоту) за зовнішнім виглядом металопоподібний: колір його залежно від ступеня чистоти і дисперсності змінюється від бронзово-жовтого до світло-коричневого. Безперервний ряд

твердих розчинів утворюється в системі TiN–TiO. Субнітрид титану Ti_3N (8,88 % азоту) – металопоподобна речовина жовтувато-сірого кольору. При звичайній температурі Ti_3N хімічно стійкий, при нагріванні до 1050 °C диспропорціонує з утворенням мононітриду, а при високій температурі поглинає азот, переходячи при цьому в мононітрида. Процес взаємодії титану з азотом описується параболічною залежністю. З підвищенням температури інтенсивність взаємодії значно зростає. Разом з тим, швидкість взаємодії титану з азотом значно нижче, ніж з киснем. Константа швидкості реакції титану з киснем в 50 разів більше, ніж реакція титану з азотом. При одній і тій же температурі швидкість поглинання титаном азоту приблизно в 7 разів менша, ніж кисню. Параболічна залежність при взаємодії титану з азотом свідчить про те, що в цьому процесі дифузія компонентів здійснюється через: з щільну нітридну плівку, що утворюється на поверхні титану, а швидкість взаємодії визначається інтенсивністю дифузії. В інтервалі 800...1100 °C спочатку утворюється твердий розчин азоту в титані з обмеженою кількістю азоту. Твердий розчин швидко переходить в багату азотом. Перетворення починається з фазового кордону газ–тверда поверхня наскільки поширюється вглиб з утворенням суцільного шару нітриду. У цьому шарі дифузія атомів азоту сильно сповільнюється. Тому при ще більш тривалій витримці титану в азоті відбувається перехід $Ti_3N \rightarrow Ti_2N$, а потім в TiN з найбільшою кількістю азоту.

Взаємодія титану з повітрям має велике практичне значення, оскільки воно має місце при отриманні титану, виплавці та обробці титанових сплавом і металургійному виробництві, а також у процесі експлуатації, коли деталі та вузли з титану піддаються впливу високих температур в атмосфері повітря.

Так само, як і при взаємодії титану з чистими газами, його взаємодія з повітрям протікає, як правило, через початок утворення шару продуктів реакції. Цей шар може мати різний склад, тому дифузія через нього протікає по різному залежно від складу, структури і властивостей плівки оксидів, її міцності і сили зчеплення з металом [24].

Титан здатний окислюватися на повітрі або у воді навіть при низьких температурах, хоча кількість кисню, що поглинається невелика. Забарвлення окалини залежить від кількості кисню, змінюючись від синювато-блакитного до чорного кольору. Зазвичай окалина на титані багат шарова. Проте вона складається з рутилу, окремі шари якого дещо різняться за складом. При температурі до 500 °С утворюється плівка, що має постійну товщину, рівну декільком десятим нанометра. При підвищенні температури окислення товщина плівки збільшується, але інших фаз не містить, а має два шари – зовнішній товстий, що про витримці понад 1 годину при 850 °С відшаровується, і внутрішній чорний прошарок, що має структуру напівкристалічного рутилу. Поряд з утворенням при досить високій температурі відбувається розчинення кисню титану. Цей процес починається при 400 °С, а помітне розчинення проходить з 550-600 °С. В інтервалі 675-930 °С спостерігається перехід від параболічного закону окислення до лінійного [23,24].

Різниця в забарвленні оксидного шару пояснюється також наявністю у титані різних домішок. Найбільш надійні є дані, отримані на основі оптичних методів та електронної скануючої мікроскопії (табл. 1.4). Шари титану під плівкою мають характерне забарвлення. Так, при температурі 700-800 °С під поверхневою біло-блакитною плівкою розташовується слой бронзового кольору. При температурах 875-1050 °С під плівкою утворюється декілька шарів окалини: темно-синя зі структурою рутилу, далі дрібний порошок пурпурного кольору, що відповідає формулі Ti_2O_3 , потім шар $TiO+TiO_2$ з деякою кількістю титану, а глибше – $Ti + TiO$ порошкоподібний.

При окисленні губчастого титану повітрям в інтервалі температур 850-1000 °С відбувається спільне збагачення поверхні металу киснем і азотом. Для утворення нітриду Ti_3N , стійкого до 1050 °С. В умовах магнієтермічного процесу мало ймовірно утворення мононітриду титану TiN , стійкого до 2950 °С.

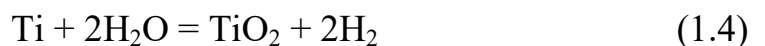
Продукти взаємодії губчастого титану з повітрям мають яскраво виражене забарвлення, яке сильно відрізняється від кольору технічно чистого

титану. Тому виготовляють набір зразків на неприпустимі «дефектні» куски, що використовують для візуального і автоматичного контролю.

Таблиця 1.4 – Структура та забарвлення оксидних плівок на поверхні титану [23,24]

Температура окислення, °С	Тривалість експозиції, год	Колір плівки	Товщина плівки, мм	Характеристика плівки
300	17	Золотисто-жовтий	–	Шар неоднорідний
300-500	17	Яскраво-блакитний	–	Шар неоднорідний
550	12	Фіолетовий	–	Матовий шар с доброю адгезією до металу
850	4	Білий	0,39	Порошкообразна плівка частково зчеплення з основою
700-900	6	Біло-блакитний	0,63	Компактна порошкоподібна плівка, повністю відділяється від основи
1000	1	Блідно-жовтий	0,69	Компактна порошкоподібна плівка, повністю відділяється від основи
1000	4	Жовтий	0,31	Паралельні тендітні шари
1250	17	Яскраво – розовий	0,46	Паралельні тендітні шари

При хімічній взаємодії титану з водою за реакцією:



протікають одночасно два процеси: поглинання титаном водню та оксидних сполук. Окислення титану у воді протікає інтенсивно, збільшення концентрації кисню в титані внаслідок взаємодії з водою більше ніж 10 разів перевищує окислення на повітря при тих же температурах. Концентрація водню в титані

після контакту з водою зростає в 3-4 рази. При взаємодії титану з воднем утворюється гідрид титану TiH_2 . Крім того, титан поглинає близько 30 % водню, який займає октаедричні порожнечі решітки. Якщо адсорбована незначна кількість водню, то спостерігається тільки розширення кристалічної решітки без зміни її структури. Подальша адсорбція створює значне напруження в кристалічній решітці. Водень дифундує в титан з дуже великими швидкостями. Так, при 500 °С коефіцієнт дифузії водню в α -Ti дорівнює близько $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$.

1.3.3 Адсорбція водяної пари поверхнею титану губчастого

Титанова губка поглинає вологу повітря пропорційно його вологості і питомої поверхні (рис.1.7).

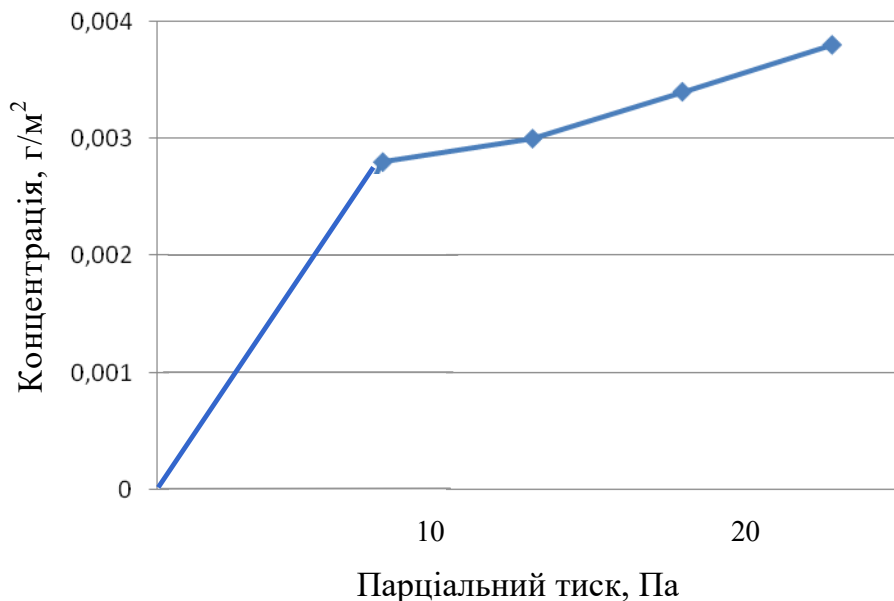


Рисунок 1.7 – Залежність концентрації води в титану губчастому від парціального тиску пари води на повітрі [22,24]

Швидкість адсорбції парів води відкритою поверхнею титану дуже велика, і насиченість протікає практично наспівав протягом перших хвилин контакту титану з вологим повітрям (рис.1.8). Крім того, в порах губчастого

титану можлива капілярна концентрація вологи з повітря, яка відбувається в ті періоди, коли температура губчастого титану і навколишнього повітря істотно розрізняється. Звідси, операції, пов'язані з вибіркою, зберіганням і транспортуванням титанової губки, бажано виконувати з мінімальною вологістю [22,24].

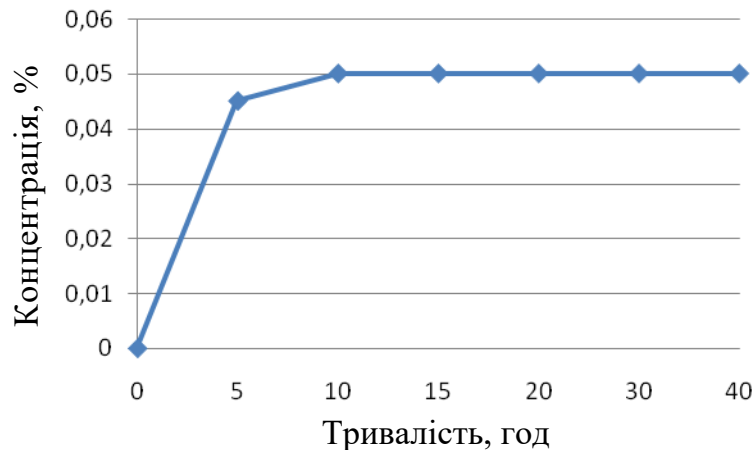
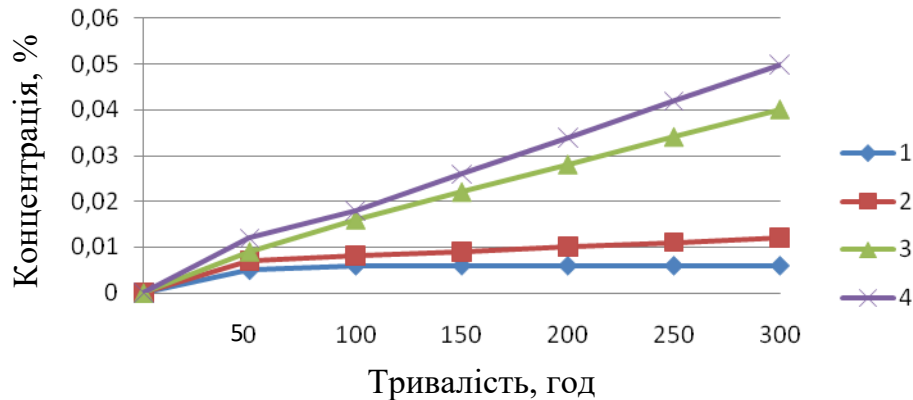


Рисунок 1.8 – Залежність концентрації води в титану губчастому від тривалості зволоження [22,24]

Після вакуумної сепарації в губці залишається деяка кількість хлоридів, головним чином гігроскопического хлориду магнію. Зволоження хлориду магнію. Розташованого на відкритій поверхні губки, протікає східчасто (у звичайних умовах глибина проникнення вологи в товщину магнію не перевищує 1-2 мм). Кількісний зв'язок між швидкістю зволоження титанової губки і різним вмістом в ній хлориду ілюструють криві рис.1.9.

Якщо в процесі плавки в титановій губці залишилося лише 0,01 % води то і це призведе до підвищення твердості титану на 5 НВ. Отже, після сепарації титанову губку необхідно оберегти від контакту з вологим повітрям, а перед плавкою видаляти адсорбовану воду проводити попередню дегазацію (десорбцію води з поверхні губки і зневоднення хлориду магнію). Основна кількість адсорбованих водяної пари видаляється в перший період дегазації. Залежно від температури і тривалості контакту частина адсорбованної води

залишається в титані у вигляді оксидів, наприклад при 50 °С – 13 %, при 200 °С – 36 %.



1 – 0 % (0,03 %); 2 – 0,02 % (0,08 %); 3 – 0,10 % (0,16 %); 4 – 0,14 % (0,25 %)

Рисунок 1.9 – Залежність концентрації води в титану губчастому з різною концентрацією хлору (в дужках вказана загальна концентрація хлору) від тривалості зволоження

У процесі підготовки титанової губки до плавки необхідно видалити воду і зі зволоженого хлориду магнію, причому зневоднення слід проводити так, щоб утворення оксиду магнію було мінімальним, інакше він залишиться в титані і забруднить його киснем. Найбільш доцільно поступово нагрівається хлорид магнію, що дозволить видалити воду по стадіях: від шестиводного до чотирьох-, двух- і моногідрату.

1.4 Якість титану губчастого та вплив на нього технологічних чинників

Титан губчастий, як пористе тіло, володіє великою питомою поверхнею. На повітрі ця поверхня контактує з газами, що входять до його складу. Титан як хімічно активний елемент вступає у взаємодію з ними. Ступінь такої взаємодії

залежить від розміру поверхні губчастого титану, характеру взаємодії, складу газів і температури [1,4].

Для визначення величини поверхні пористих металевих тіл застосовують методи, засновані на їх адсорбційних властивостях або на визначенні швидкості розчинення металу в кислоті. Визначена за допомогою цих методів питома поверхня титанової губки коливається в межах $0,1 \dots 0,4 \text{ м}^2/\text{г}$. Питома поверхня некондиційної дрібнокристалічної губки складає $1 \dots 2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Існує прямий зв'язок між величиною питомої поверхні губки і кількістю газів, адсорбованих цією поверхнею на повітрі. Так, на поверхні титанової губки, рівний $0,1 \text{ м}^2/\text{г}$, буде міститися $0,005 \%$ кисню. Поверхня титану розміром 1 м^2 адсорбує до $0,03 \text{ г}$ водяної пари з повітря [17]. Навіть при частковому зв'язуванні кисню або води титаном під час плавлення губки твердість металу помітно підвищується.

До якості губчастого титану висувають високі вимоги у зв'язку з необхідністю підвищення надійності матеріалів з титанових сплавів. Параметрами якості є концентрація основних домішок (заліза, вуглецю, кисню, азоту, кремнію, нікелю, хлору), твердість HB, фракційний склад, відсутність або наявність шматків з дефектними включеннями, однорідність металу товарної партії.

За концентрацією основних домішок і твердості губчастий титан поділяють на марки (сорти). Для виплавки злитків титанових сплавів використовують губчастий титан марок ТГ-90, ТГ-100, ТГ-110, ТГ-120, ТГ-130 і ТГ-150. Губчастий титан марки ТГ-Тв направляють в чорну металургію для розкислення і легірування сталей. Губчастий титан марки ТГ-ШМ має крупність до 2 мм , тому його використовують в порошковій металургії.

За фракційним складом губчастий титан поділяють наступним чином: найбільш використаною є фракція $-70+12 \text{ мм}$, в меншій кількості випускають фракції $-25+12 \text{ мм}$, $-12+5 \text{ мм}$, $-12+2 \text{ мм}$, $-5+2 \text{ мм}$. Кількість шматків, що виходять за межі розмірів поставляється фракції, становить $4 \dots 10 \%$. Максимально допустима крупність шматків 100 мм .

Технічні вимоги до титанової губки як до товарної продукції наведено за ГОСТ 17746-96 в табл.1.5. За умови рівномірно розподілу всіх домішок в титані губчастому марку вище ТГ-130 отримати неможливо. Однак таку губку отримують в промисловості внаслідок нерівномірного розподілу в блоці губки домішок, які переходять з магнію, аргона та матеріалу реактора.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад титанової губки

Марка титана	Масова частка домішки, % не більше					
	Fe	Si	C	Cl	N	O
ТГ-90	0,06	0,01	0,02	0,08	0,02	0,04
ТГ-100	0,06	0,02	0,03	0,08	0,02	0,04
ТГ-110	0,09	0,03	0,03	0,08	0,02	0,05
ТГ-120	0,11	0,03	0,04	0,08	0,03	0,06
ТГ-130	0,13	0,04	0,04	0,10	0,03	0,08
ТГ-150	0,2	0,04	0,05	0,12	0,04	0,10
ТГ-Тв	2,0	-	0,15	0,03	0,3	-
ТГ-ШМ	1,2	-	-	0,15	0,1	-

Домішки, що містяться в магнії, концентруються в перших порціях утворюється титану і в основному потрапляють в нижню частину блоку губки (рис.1.4). Домішки з тетрахлориду титану розподіляють по всьому блоку рівномірно. Одне з найбільш жорстких вимог – повна відсутність в товарних партіях металу шматків губчастого титана з дефектами, що відрізняється за кольором або яскравості від технічно чистого титана. Як показано вище, це відмінність у забарвленні і відтінках виникає внаслідок концентрації домішок, особливо азоту і кисню. Шматки губчастого титану з дефектами підрозділяють на п'ять видів: а) горілі (шари оксиду); б) окисленні (яскраво виражені кольори від жовтого синього); в) шматки, що мають нальоти або включення хлоридов; г) шламісті; д) збагачені залізом і супутніми елементами.

Щоб запобігти потраплянню дефектних кусків в товарний губчатий титан, необхідно дотримуватися вимог технологічного процесу.

Контроль відсутності дефектних шматків здійснюють на сортувальному транспортері вручну на основі візуального порівняння зі зразками. На

транспортері обладнано пристосування, що забезпечують отримання шару рівномірної товщини, необхідної для огляду кожного шматка. Кардинальним вирішенням питання якості губчастого титану є застосування об'єктивних методів контролю якості кожного шматка.

Відмінності в відтінків колірив та коефіцієнтів відбивання (для дрібних фракцій – також термоелектричних і магнітних властивостей) є фізичною основою розроблюваної в сучасний час автоматичного сортування та контролю наявності шматків, збагачених домішками.

Кисень потрапляє в титанову губку з початковими продуктами – тетрахлоридом титану, магнієм і аргоном, а також протягом виконання різних технологічних операцій під час відновлення, вакуумної сепарації, оброблення і зберігання отриманої губки. Кисень, що надходить з тетрахлоридом титану, рівномірно розподіляється по всьому блоку титанової губки. При використанні твердого магнію вміст кисню в губці більший, ніж при застосуванні рідкого магнію, оскільки твердий магній за рахунок поверхневих плівок на чушках вносить більшу кількість кисню, ніж рідкий. Домішки з магнію в основному переходять в губку нижньої і гарнісажної частин блоку. У середній частині блоку їх виявляється найменша кількість, а у міру просування від центру блоку до периферії їх вміст зростає.

Баланс домішок (табл. 1.6) дозволив уточнити значущість ряду джерел кисню, азоту, вуглецю [14]. Наявна неув'язка балансу по кисню може бути віднесена до тетрахлориду титану, який містить значне число різноманітних оксихлоридів, хоча і в невеликій концентрації [21,25], а кисень визначається лише у складі декількох сполук ($TiCl_2$, $VOCl_3$, $COCl_2$).

Важливу роль в зволоженні губки мають її структурні характеристики. Було встановлено, що схильність до зволоження виявляють ті зразки губчастого титану, які складаються з дрібних агрегатів і мають високу питому поверхню, велику кількість пор радіусом 10-25 мкм. Тому меншою схильністю до зволоження характеризується титанова губка з центральної частини блоків, більшою – з периферійних частин.

Таблиця 1.6 – Вміст домішок в сировині, матеріалах і продуктах магнієтермічного процесу [14]

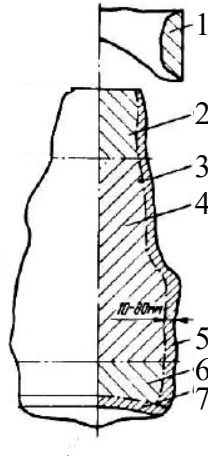
Речовина	Масова частка домішок, %			
	кисень	азот	залізо	вуглець
Тетрахлорид титану	0,0002	0,0002	0,0002	0,006
Магній	0,006	0,002	0,022	0,0055
Губчастий титан	0,057	0,026	0,051	0,015
Хлорид магнію	–	0,002	0,0085	0,005
Аргон	0,002	0,01	–	–

Підтримка раціонального гіротермального режиму за допомогою наявної системи опалювання (вентиляції) дозволила запобігти підвищенню вологості (у літній час) в тех приміщеннях, де вплив вологості на якість продукту особливо помітний. Дослідження також показали, що під дією атмосферної вологи змінюється якість магнію, тетрахлориду титану, оборотного конденсату магнію, хлориду магнію, аргону, вакуумного мастила. Атмосферна волога адсорбується апаратурою, що використовується в процесі. Сезонне погіршення якості губки може бути спричинено і тим, що вміст кисню в магнії в періоди з підвищеною вологістю повітря може зростати в 2 рази [26].

1.5 Характеристика титану губчастого як об'єкта механічної обробки

В результаті магнієтермічного процесу отримують титан у вигляді не зовсім правильних циліндричних блоків губчастої структури (рис.1.10). Блоки губчастого титану подрібнюють, що дозволяє використовувати його для виплавки злитків титанових сплавів.

Титан губчастий подрібнюють механічними методами. Блоки губчастого титану являють собою спечений міцний і низький матеріал. неоднорідний за структурою та хімічним складом. Незважаючи на пористу структуру і порівняно високу чистоту титану, блок в цілому має велику міцність і вимагає докладання значних зусиль для роздрібнення на шматки.



1 – якісний метал; 2 – гарнісаж; 3 – «капельох»; 4,5 – бічний і нижній відповідно перехідні шари; 6 – нижня плівка; 7 – плівка бокової поверхні

Рисунок 1.10 – Схема розташування в блоці титану губчастого шарів різної якості [2]

Конфігурація донної частини блоку губки залежить від форми, вона буває плоскою або злегка грибоподібною. Верхній торець блоків губки не має постійної форми, він може бути овальним, складатися з виступів. Бічна поверхня блоків містить порожнечі, іноді значні. Більш правильну циліндричну форму має нижня, більш щільна частина. У блоці губчастого титану на різній глибині є зони низькоякісного металу. Так, донна частина блоку («нижня плівка») забруднена оксидами магнія, титану, кремнія, феротитаном та іншими домішками. Включення, як правило абразивні та провадженні у в'язку основу якісного металу. На бічній поверхні блоків розташовані осередкові включення, переважно у вигляді залізних плівок [24,25,27]. Верхній торець блоку губки може мати незначний шар дисперсного чистого або окисленого титану, дисперсні включення губки схильні до займання при механічній обробці на повітрі.

Як показано вище, перед відправкою споживачеві з кускового губчастого титану повинні бути повністю вилучені шматки, збагачені домішками або мають помітні включення домішок: горілі, з окисленою поверхнею, хлоридні, шламісті, залізасті.

Щільність губчастого титану по блоку коливається в широких межах 1,0-3,5 г/см³. Вона зменшується знизу вгору і від центру до периферії. Блоки однакового габариту можуть мати різну середню щільність залежно від режиму процесу відновлення. Блоку, одержувані у великих реакторах, як правило, володіють підвищеною щільністю. Титанова губка – типове капілярне тіло. Поверхня блоків містять безліч виступів у вигляді тендітних зростків губки і дисперсних включень, які можуть обсіпатися від тертя та інших механічних впливів. Гарнісажна губка, отримана в одному і тому ж реакторі, але в різних циклах, може помітно відрізнятися за обсягом.

Верхня частина блоку і гарнісаж мають збільшену концентрацію кисню, азоту. хлору. Сокової шар блоку і гарнісажна частина містять більше заліза і нікелю, концентрація яких убуває до центру блоку. Нижня зона блоку (шар ніші нижньої плівки) містить більше заліза азоту і кисню, ніж середня зона. Виразні шари губки з підвищеною концентрацією домішок дозволяють при обробленні блоку і сортуванні губки виначити метал високої якості.

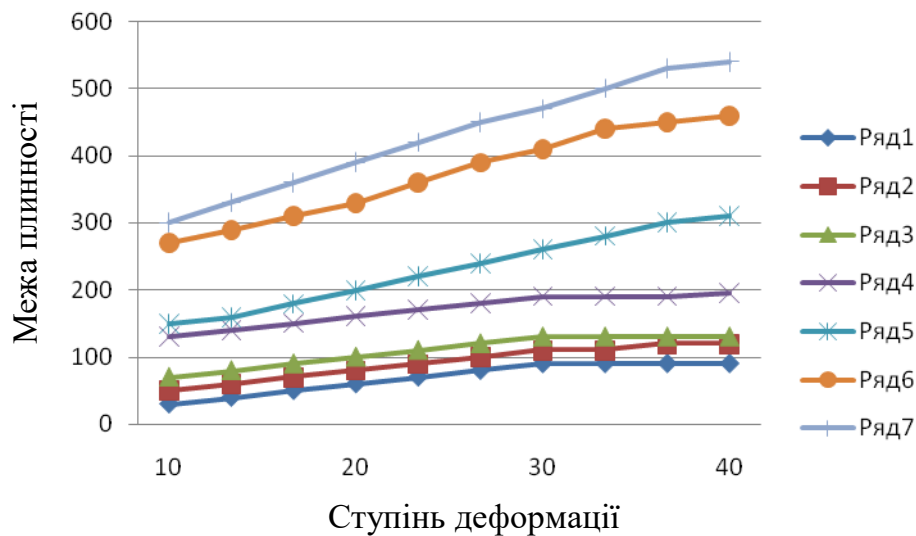
Механічні та технологічні властивості губчастого титану вивчені недостатньо. Деякі уявлення про механічної міцності губчастого титану можна отримати з наведених нижче даних. Опір стиску (рис.1.11) зростає з підвищенням щільності губка і ступеня деформації.

Твердість (НВ) титану залежить від концентрації основних домішок (кисень, азот, вуглець, залізо) та описується рівнянням [3]:

$$HB = 1960\sqrt{C_1} + 1580\sqrt{C_2} + 450\sqrt{C_3} + 200\sqrt{C_4} + 570, \quad (1.5)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – вміст азоту, кисню, вуглецю, заліза в титані відповідно, %.

Із збільшенням концентрації азот більшою мірою підвищує міцність, чим кисень [4]. Вплив 0,01 % азоту на механічні властивості титану приблизно еквівалентний впливу 0,02 % кисню або 0,03 % вуглецю.



1 – 2,7 г/см³; 2 – 3,0 г/см³; 3 – 3,3 г/см³; 4 – 3,7 г/см³; 5 – 3,9 г/см³; 6 – 4,3 г/см³; 7 – 4,5 г/см³

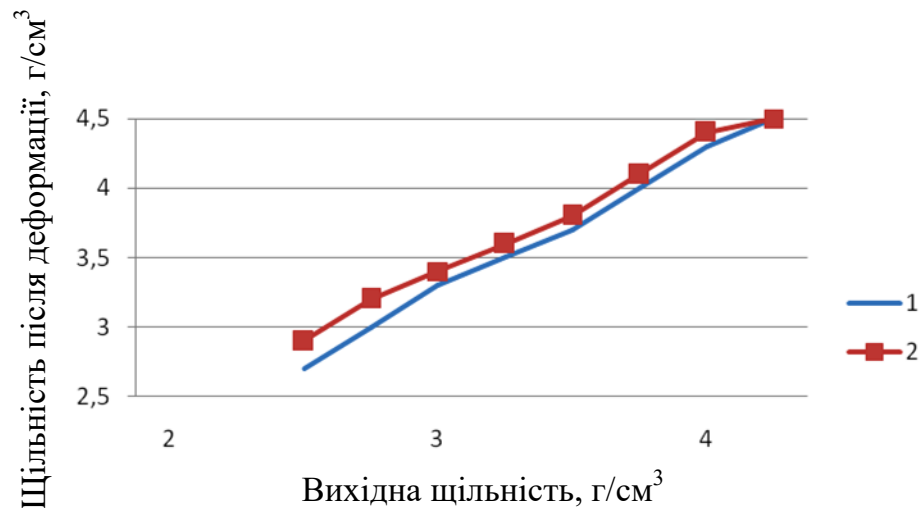
Рисунок 1.11 – Залежність межі плинності при стисненні від ступення деформації та щільності губчастого титану

Зі збільшенням розмірів шматків міцнісні показники губки мають тенденцію до зниження, що обумовлюється збільшенням числа тріщин в пустот при збільшенні розмірів шматка. У процесі осадження губчастий титан ущільнюється (рис. 1.12). Міцність, зусилля і напруги зрізу також значною мірою залежать від щільності губки. Глибина впровадження інструменту при зрізі до руйнування залежить від пластичності (в'язкості) [28,29].

1.6 Методи переробки та сортування титану губчастого

При переробці титану губчастого насамперед відокремлюють якісніший метал від менш якісного. При обробленні блоку губки від криці (центральної частини блоку) відокремлюють низ і верх блоку. З криць комплектують партії металу найбільш високої якості; партії металу, відібраного з інших частин

блоку, є менш якісними. Завдяки такому методу попереднього сортування вдасться отримати частину металу вищих сортів, в яких концентрація домішок менше, ніж у середньому по блоку. Зате інша частина металу неминуче виходить менш високої якості. Чим крупніше шматки дробленої губки, тим вони більш високої якості.



1 – ступінь деформації 50 %; 2 – ступінь деформації 30 %

Рисунок 1.12 – Залежність щільності губчастого титану після деформації від вихідної щільності при різних ступенях деформації

Технологічна схема переробки блоків губчастого титану і товарну продукцію включає наступні основні операції: 1) подрізку гарнісажної частини губки на реакторах; 2) виїмку губки з реторти; 3) очищення блоку губки від поверхневих плівок і забруднення; 4) руйнування блоків губки на шматки з доведенням їх крупності до необхідного розміру товарної продукції; 5) розсівання з виділенням товарних фракцій; 6) сортування товарних фракцій з витяганням некондіцйонних шматків, збагачених домішками; 7) усереднення товарного губчастого титану; 8) комплектація товарної партії губчастого титану.

Перед витяганням блоку губки з реактора звільняють його прохідний перетин від гарніссажної губки. Завдання цієї мети використовують відбійні молотки або спеціалізовані механізми. Блоки губки витягують з реторт при допомозі виштовхуючих пресів, машин або механічних захоплень.

При обробленні блоків титану губчастого необхідно враховувати його особливі властивості: швидку окислюваність при нагріванні на повітрі низьку теплопровідність, низьку теплопровідність та ін. Щоб зруйнувати цілий блок губки або великий шматок, потрібно зосередити велике зусилля на малій ріжучій кромці. Агрегат повинен однаково ефективно дробити шматки різного розміру його продуктивність повинна бути порівнянна з продуктивністю інших агрегатів що здійснюють стадії дроблення. Цим умовам задовольняють, обрізні і кувальні гідравлічні преси. Швидкості різання на цих пресах складають 30-150 мм/с. Вони допустимі для обробки губчастого титану на повітрі без помітного погіршення якості. Ці преси доцільно використовувати для отримання шматків крупністю більше 300 мм [28].

Великої уваги заслуговує метод відшарування, що застосовується для обробки циліндричних поверхонь. Обробка здійснюється автоматичними роликми, які знімають шар металу з зовнішньої поверхні блоку. Відшарування може бути застосоване для очищення блоку гублатого титану від поверхневих забруднень або для його подрібнені в одну стадію. В основі методу покладений процес, проміжний між обробкою тиском і різанням. Відсутність гострих ріжучих кромки в роликовому інструменті дозволяє застосувати форсовані режими обробки істотно не підвищуючи температуру в зоні контакту з інструментом. Важлива перевага методу - отримання великої роздробленої стружки регульованого розміру. Кусковий матеріал крупністю до 300 мм подрібнюють в дробарках різних конструкцій. Найбільш продуктивно подрібнення в дробарках ударної дії. В щоккових і конусних дробарках може бути досягнута велика ступінь подрібнення. Якщо в таких дробарках не застосовувати інертної атмосфери (це складно) то внаслідок високої швидкості дроблять органів губка нагрівається і окислюється, утворюючи. Окатиші.

Валкові дискозубчаті дробарки є тихохідними агрегатами, їх зазвичай застосовують в багатостадійних схемах. Дроблений матеріал у них розігрівається, так як інструмент періодично виводиться із зони обробки на порівняно великий проміжок часу

Приготування однорідних за хімічним складом товарних партій губчатому титану – важлива технологічна операція. Труднощі усереднення полягають в тому, що фракційний й склад товарної партії має широкий діапазон крупності шматком, істотно розрізняються хімічним складом і механічними властивостями. Використовувати маніпулятори, штовхачі і адресователі. найбільш відповідний агрегат для поводження з великим матеріалом – маніпулятор типу механіческая рука, для середніх і дрібних шматків губчастого титану (крупністю 100 мм) можна використовувати стрічкові транспортери та елеватори. З метою скорочення протяжності транспорту застосовують вібротранспортери. Від правильного вибору і розрахунку розмірів бункерів.

Враховуючи особливості будови губчастого титану, його фізико-хімічні та механічні властивості, при його переробці в товарну продукцію необхідно виконувати наступні умови: а) запобігати контакту блоків губки і її шматків з можливими джерелами забруднення: окалиною, маслом з оборуіонанія, уламками інструменту. брудом на транспортних засобах; б) раціонально обробляти блок губки на категорії; в) виключати змішування різних категорій роздробленої губки, що розрізняються хімічним складом і однорідністю; г) запобігати розсип губки; захищати рухомі і труться механізмів від потрапляння дрібних шматочків губки і титаіовой пилу; д) обмежувати крупність шматків, що спрямовуються на кожну стадію.

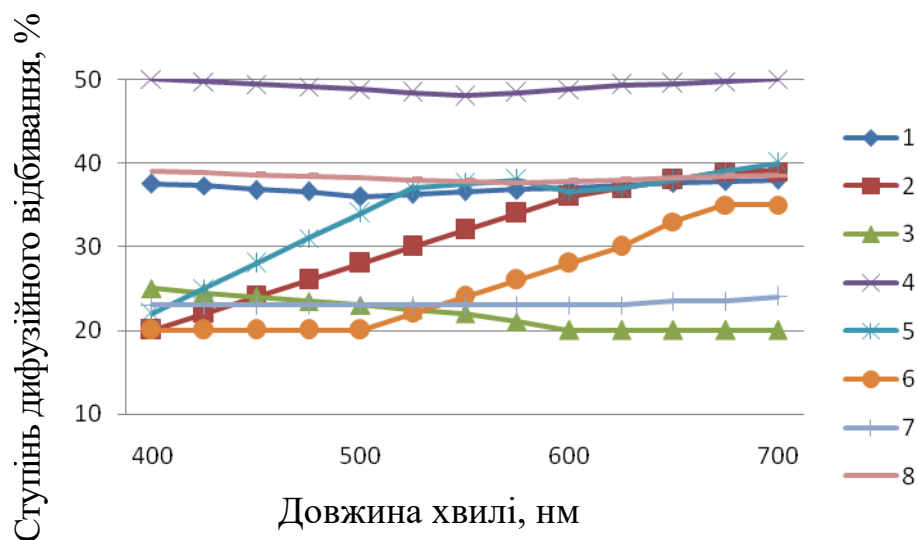
Технологічний процес переробки блоків губчастого титану в товарну продукцію складають за принципом потокового виробництва з механізацією трудомістких підготовчих і заключних операцій.

На завершальному етапі виробництва товарної продукції необхідною операцією є сортування, викликана тим що, незважаючи на візуальний контроль на всіх попередніх операціях, в подрібненому матеріалі можуть бути

присутніми в невеликій кількості шматки губчастого титану з дефектами. Зазвичай сортування здійснюють вручну на рухомій транспортерній стрічці або на сортувальних столах.

Метод візуального сортування є суб'єктивним та недостатньо надійним, тому вдосконалення процесу сортування, створення автоматизованого методу на основі об'єктивних ознак розділення якісних і некондиційних кусків – важливий напрям подальшого підвищення якості продукції [3,14].

Для губчастого титану, який набуває різноманітне фарбування при підвищеному вмісті регламентованих домішок, основною відокремлюючою властивістю є оптичні властивості: коефіцієнт відбиття, яскравість. Спектри відбиття технічно чистого титану відрізняються від спектрів відбиття дефектних шматків (рис.1.13). Ця властивість покладана в основу методу фотометричного сортування [17].



1 – технічно чистий титан; 2 – окислений жовтий; 3 – окислений синій;
4 – збагачений залізом; 5 – згорівший білий; 6 – згорівший бурий; 7 – хлорний

Рисунок 1.13 – Залежність ступеня дифузійного відбивання технічно чистого губчастого титану та його дефектних різновидів від довжини хвилі

Метод фотометричного сортування має переваги серед інших методів: в основу покладено безконтактне вимірювання фізичної властивості.

Фотометричні сепаратори відрізняються від приборів-автоматів простим технічним виконанням і достатньо великою продуктивністю, мають можливість керування за допомогою ПОЕМ.

Автоматичне сортування губчастого титану фракції -12+2 мм ускладнюється тим, що дрібні шматки складно відокремити за однією ознакою, потрібно вимірювати декілька властивостей.

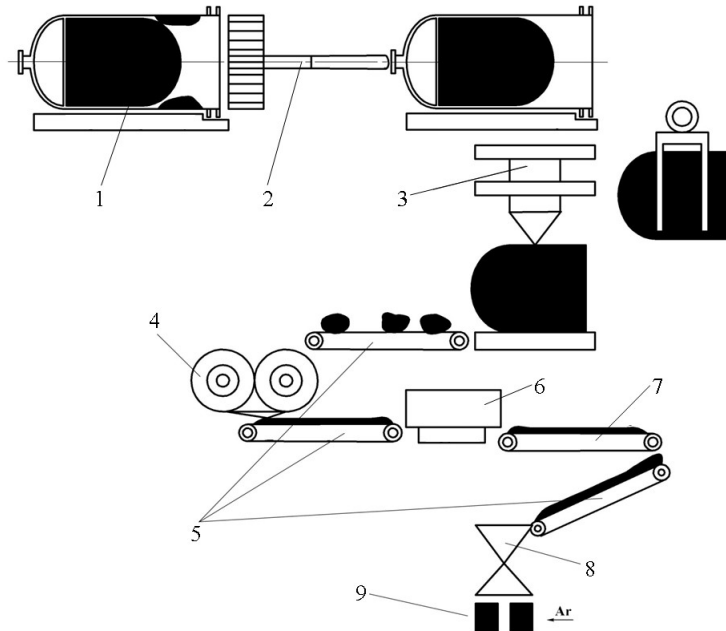
Комплексне автоматичне сортування повинно включати не лише процес відокремлення дефектних шматків від технічно чистого титану, але й витягування технічного чистого титану з відходів.

1.7 Технологія переробки блоків титану губчастого та комплектування товарних партій

Переробка й сортування відсепарованого блоку титанової губки необхідні для отримання більш однорідних по складу і крупності партій шматків титанової губки, придатних для подальшої плавки на компактний метал. Відповідно до апаратурно-технологічної схеми (рис. 1.14), процес переробки губчастого титану включає наступні основні операції: підрізку гарнісажної частини губки в реакторах; витягання титанової губки з реторти; очищення блоку губки від поверхневих плівок і забруднення; руйнування блоків губки на шматки з доведенням їх крупності до необхідного розміру товарної продукції; розсів з виділенням товарних фракцій; сортування товарних фракцій з витягом некондиційних шматків збагачених домішками; усереднення товарного губчастого титану; пробовідбір; комплектацію товарної партії губчастого титану: розподіл губки однієї крупності і одного хімічного складу з пакувальним місцям і затарюванням.

Попереднє *підрізування (відрив) гарнісажної частини губки* від стінки реторти значно знижує зусилля для видавлювання блоку з реторти. Механічно або вручну від блоку відокремлюють донну частину товщиною 20-60 мм і верхню незначну частину – «капелюх». З бічної поверхні блоку видаляють

видиму плівку феротитану. Очищений таким чином блок, званий крицею, характеризується високою якістю і надходить на окрему переробку і сортування по крупності.



- 1 – блок губчастого титану; 2 – прес ПО-336; 3 – прес НАО-242;
 4 – дискозубчаста дробарка; 5 – транспортувальні конвеєри;
 6 – гуркіт; 7 – сортувальний конвеєр; 8 – розподільник;
 9 – товарна продукція

Рисунок 1.14 – Апаратурно-технологічна схема переробки блоків титану губчастого та комплектування товарних партій

Гарнісажну частину губки після попереднього поверхневого очищення дроблять і сортують окремо. Такий метод переробки і сортування дозволяє отримувати більшу частину титанової губки високої якості і однорідну за складом. При якісній обробці і сортування блоку можна отримувати вихід титанової губки марки ТГ-90 більше 30 %. При такому роздільному способі переробки з гарнісажної частини отримують титанову губку нижчих сортів. Як правило, донна частина блоку і плівки відразу направляються на комплектацію партій титанової губки марки ТГ-Тв. Крицю і очищений гарнісаж окремо або разом дроблять, розсіюють по фракціях і комплектують товарні партії

титанової губки.

Витягання титанової губки з реторти. Блок титанової губки з реторти видавлюють на горизонтальному виштовхуючому пресі ПО-336. Залежно від форми гарнісажу та величини зчеплення його зі стінкою реторти він може створювати значний опір при видавлюванні, аж до повного заклинювання блоку в реторті й поломки штока преса. Щоб уникнути поломки преса і значного зниження зусилля при видавлюванні блоку рекомендується попередньо розрізати гарнісажне кільце й відірвати його від стінки реторти.

На переробку губчастий титан надходить в ретортах діаметром 1500 мм. У верхній частині реторти (у фланця) розташовується гарнісажне кільце, нижче, окремо від гарнісажу – власно блок губки. У деяких випадках гарнісажне кільце зростається з верхньою частиною блоку або вклинюється глибоко в зазор між стінкою реторти і блоком. Зазор між блоком губки і ретортою може мати величину до 50 мм і більше.

Витягання гарнісажу та блоку ТГ з реторти. За основу приймається технологічний процес витягання блоку губчастого титану з реторти з допомогою преса в дві операції: а) підрізування гарнісажної частині блоку в реторті з боку фланця кільцевим ножом; б) виштовхування блоку з реторти через отвір в її дні за допомогою штока.

Встановлення на прес і зняття з преса реторти з блоком виконується в горизонтальному положенні реторти мостовим краном з використанням 2-х-ветьєвого ланцюгового стропа, шляхом стропування за одне вушко на фланці і одне вушко на дні реторти. Від горизонтальних зусиль при підрізуванні і виштовхуванні блоку реторта фіксується в пресі при установці краном за рахунок входження її нижньої половини фланця між упорами.

Реторта при установці повинна базуватися своєю циліндричною частиною в призмі соосно з осями ножа й штока і разом з ними складати єдину вісь преса. Допускається несоосність реторти до ± 15 мм.

З реторти блок виштовхується на стіл, з якого знімається мостовим краном з використанням троса шляхом стропування блоку на «зашморг». Шматки губки стикаються гачками і змітають в кубель.

При видаленні блоків титанової губки з реторт передбачає послідовне виконання операцій на двох технологічних позиціях преса: а) підрізування гарнісажної частині блоку в реторті з боку фланця кільцевих ножом; б) виштовхування блоку з реторти через отвір в її дні з допомогою штока.

Для виконання зазначених операцій зусилля преса передається до місць прикладання технологічного зусилля – до поверхні зчеплення гарнісажного кільця з ретортою при підрізуванні гарнісажа або до помилкового днища при виштовхуванні блоку титанової губки. Максимальна технологічне зусилля, яке може розвинути прес дорівнює 4000 кН, однак робоче зусилля обмежено міцністю реторти.

Виштовхування блоку титану губчастого з реторти виконується послідовно. При подальших операціях видалення блоків титанової губки з реторт, цикли підрізування і виштовхування повторюються із вихідних положень рухомий траверси.

Підрізування гарнісажної частини. При входженні ріжучої кромки ножів в реторти на глибину 50-150 мм відбувається розведення ножів до упору їх в стінку реторти і перехід рухомий траверси з холостої швидкості на робочу. Підрізування гарнісажу виконується при переміщенні кільцевого ножа в реторті на задану величину на робочій швидкості. Скидання тиску в циліндрах розжиму ножів по закінченні робочого ходу повертає рухому траверсу у крайнє положення.

Обробку блоку титанової губки (обрубання низу і «капелюха», видалення плівок і дефектних ділянок з бічних поверхонь) роблять вручну відбійним молотком. При роботі відбійним молотком в залежності від виду операцій необхідно користуватися короткими або довгими піками, не допускати загоряння титану губчастого, складати окремо дефектну або низькосортну губку. Обробляти блок необхідно в чистому і сухому приміщенні. У разі

спалаху блоку його для гасіння поміщають в ємність з аргоном. Очищений блок титану губчастого (крицю) направляють дроблення (рис.1.15)



Рисунок 1.15 – Транспортування блоку титану губчастого

Дроблення. Крицю титану губчастого попередньо дроблять на вертикальному пресі зусиллям до 15 МН й у валковій дробарці з клиновими ножами до величини шматків не більше 180 мм. Остаточне дроблення до величини шматків, не більше 70 мм роблять на дискозубчастих валкових дробарках. Гарнісажну частину титанової губки можна подрібнювати до тих же розмірів на пресах меншого зусилля й щоків дробарках. Шматки розміром понад 70 мм направляються на повторне дроблення.

Шматки титану губчастого крупністю 300 мм подрібнюють до величини 180 мм на валкових дробарках з клиновими ножами, а до величини 70 мм – на дискозубчастих дробарках. На цих же дробарках додроблюють повернення шматків крупністю більше 70 мм з вузла розсіву.

Переробка гарнісажу та блоку. Очищення криці від поверхневого забруднення і виділення низькоякісних складових частин (низовий обруб, бічний обруб, зметки). Роздільна переробка криць категорій якості А00, А20, В00, В20, А22, А02, В22, В02 відбувається на потокової лінії дроблення, іншої маси титану губчастого (криці категорії якості А30, В30, С30, А33, А03, В33, В03, С33, С03, гарнісажу низовий і бічний обруб, та ін.) – на щоків дробарках. Розсів титану губчастого з виділенням товарної фракції. Сортування

товарних фракцій титану губчастого здійснюють для видалення шматків з дефектами. Усереднення товарних фракцій титану губчастого, пробовідбір й комплектування товарних партій.

Дроблення кричної частини блоків проводиться в три стадії велике до 300 мм на – пресі НАО-242, середня (до 150-100 мм) – на клиновій дробарці, дрібне (до 30 мм) – на дисковій дробарці і дроблення шматків (+30мм), що надходять з гуркоту – на дисковій дробарці.

Розсів виконується на барабаннім гуркоті на фракції: -12 мм, $-25+12$ мм, $+25-30$ мм і $+30$ мм, і вібраційному гуркоті на фракції: $-12+5$ мм, $-5+2$ мм і $-2+0$ мм. При комплектуванні партій титану губчастого марок ТГ-90, ТГ-100, ТГ-110, категорій якості А00, А20, В00, В20, А22, А02, В22, В02 після просівання відбувається поділ загального потоку на два паралельних сортувальних контейнера фракції $-25+12$ мм і $+25-30$ мм, навантаження яких визначена продуктивністю потокової лінії близько 3,0 т/год.

Великі фракції $-30+25$ мм і $-25+12$ мм надходять на конвеєри сортувальні для великих фракцій, піддаються ручного сортування і, пройшовши пробовідбірник змішуються та надходять на проміжну ємність фракцій $-30+12$ мм.

Затарювання й маркування товарних партій титанової губки виробляють тільки після отримання повного аналізу якості. Для збільшення виходу якісної титанової губки додатково дроблять і сортують всі перелічені відходи від блоку й гарнісажу. При цьому застосовують й магнітну сепарацію.

Заповнені алюмінієві контейнери або бочки подаються для ущільнення на вібростенд на 1-2 хв, потім на електронні або механічні ваги.

Маркіровані та підготовлені контейнери з титановою губкою вивозяться для обробки бочок. За допомогою електронавантажувача бочки виставляються в кантувателі, кантуються у вертикальне положення. Потім відгвинчують пробку, замість неї в гніздо приєднують штуцер, з'єднаний з шлангом вакуумної системою насоса НВЗ-300, відкривають вентиль на колекторі вакуумної системи. Бочку відкачують до залишкового тиску 67 кПа. Бочки маркують та складують в штабелі.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання

Титан губчастий отримують у вигляді блоку щільно спечених конгломератів, що утворилися при відновленні магнієм тетрахлориду титану та сепарації у вакуумі кристалитів титану з реакційної маси (рис. 2.1). Верхня частина блоку має форму умовного конуса, основна частина – циліндричну форму.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд блоку титану губчастого

Розміри отриманого блоку залежать від місткості реторт апарату відновлення і знаходяться в межах 0,9 т до 10 т [31]. Після дроблення блоку і розсівання на куски розміром від 2 мм до 70 мм титан губчастий надходить споживачеві як кусковий матеріал.

Щільність титану губчастого в окремих зонах блоку коливається в межах від 1000 кг/м^3 до 3500 кг/м^3 [32]. Блоки однакових розмірів можуть мати різну середню щільність залежно від умов магнієтермічного виробництва. Висота і маса блоків, отриманих в реакторах одного типорозміру, можуть відрізнятися від середнього рівня на 5-10 % [33-34]. Характеристика блоку титану губчастого надана в таблиці 2.1.

Механічні властивості титану губчастого і металевого в значній мірі залежать від вмісту домішок водню, кисню, азоту та вуглецю, які підвищують

міцність титану та істотно знижують його пластичність і в'язкість. Домішки погіршують технологічні властивості металевого титану під час обробки. Узагальненим показником якості титану губчастого є його твердість, яка адитивно залежить від концентрації домішок.

Таблиця 2.1 – Характеристика блоку титану губчастого

Найменування параметра	Величина
Діаметр блоку, мм	1480
Висота блоку, мм	2000±200
Маса блоку, кг	4300
у тому числі:	
– крична частина, кг	3800
– гарнісажна частина, кг	500

Неметалеві домішки – азот, кисень, вуглець і водень – надходять до титану губчастого з вихідною сировиною (тетрахлорид титану, магній) та в процесі його виробництва, домішки сірки і фосфору вносяться з тетрахлориду титану. Існуюча технологія очищення технічного тетрахлориду титану забезпечує видалення домішок хлоридів і оксихлоридів металів, проте не видаляє всі домішки, що впливають на якість титану губчастого. Збільшення кількості стадій ректифікації та впровадження хімічних і термічних методів підготовки тетрахлориду титану перед очищенням для перетворення домішкових елементів у сполуки, які легко відокремлюються ректифікацією, дозволяють підвищити якість титану і потребують додаткових витрат.

Утворення низькосортного титану губчастого марки ТГ-Тв пов'язане зі специфічними особливостями технології його отримання, умовами переробки титанових блоків у товарну продукцію. Домішки, що потрапляють до титану губчастого з відновника, концентруються переважно в нижній частині блоку, домішки, що потрапляють, з матеріалу стінок реторти, накопичуються в гарнісажній губці.

Порушення технологічних режимів проведення процесів відновлення тетрахлориду титану та сепарації реакційної маси призводять до появи некондиційних різновидів титану губчастого.

Для складання товарних партій титану губчастого при надходженні реторти з блоком здійснюється попередній зовнішній огляд та присвоєння попередньої категорії якості.

Технологія переробки титану губчастого, що заснована на його фізико-хімічних властивостях, полягає в:

- дробленні і подрібненні блоків до величини шматків не більше 30 мм;
- видаленні шматків з дефектами;
- комплектації товарних партій.

Хімічний склад і механічні властивості титану губчастого повинні відповідати вимогам ГОСТ 17746-96 [35], надано в таблиці 1.1.

Для дослідження використовуються зразки титану губчастого вищих марок (ТГ-90 і ТГ-100) виробництва ТОВ «ЗТМК». Вміст іона хлору в зразках не перевищує 0,08 %.

Для сушіння поверхонь металу використовується спирт етиловий ректифікований за ГОСТ 5962-67 [36].

Для знежирення поверхонь металу використовується сода кальцинована технічна за ГОСТ 5100-85 [37].

Для приготування електроліту використовується соляна кислота марки «чда», що відповідає ГОСТ 3118-77 [38]. Концентрована (37 %) соляна кислота є безкольоровою або жовтуватою рідиною з різким запахом, «димить» у повітрі, щільність становить 1,187 г/см³.

Для опромінювання губчастого титану ультрафіолетовим світлом використовується ртутно-кварцовий опромінювач марки РКЛ-05 виробництва Миколаївського заводу «Металіст».

Для вимірювання температур подрібнених шматків титанової губки після оброблення блоку використовується пристрій на базі пірометра яскравості із зникаючою ниткою напруги серії «Промінь–М» виробництва Кам'янець-Подільського приладобудівного заводу.

Для вимірювання спрощених поляризаційних кривих як електроди використовується технічний титан марки ВТ1-0, виготовлений у вигляді пластин завтовшки 2 мм і розміром 100x40 мм з відполірованою поверхнею.

Силу струму і потенціал поляризації вимірювали за допомогою амперметра типу М2001/1 та цифрового вольтметра типу Щ1516 відповідно.

2.2 Методика визначення якості блоку титану губчастого

Визначення категорії якості блоку і гарнісажу титану губчастого. Присвоєння категорії якості блоку титану губчастого та його гарнісажу проводять окремо. Складовим блоку (верхньої часті низовому і бічному), счіткам з реторти категорію якості не присвоюють. Категорію якості блоку і гарнісажу титану губчастого присвоюють за результатами візуального контролю. Контроль якості титану губчастого і гарнісажу повинен здійснюватися на всіх технологічних операціях, у тому числі для крупного дроблення, для своєчасного виявлення прихованих дефектів включень і видалення їх з технологічного потоку.

Визначення категорії якості криці титану губчастого. Контроль якості титану губчастого здійснюють на всіх технологічних операціях, у тому числі для крупного дроблення, для своєчасного виявлення прихованих дефектних включень і видалення їх з технічного потоку. Криці категорію якості присвоюють після оброблення блоку титану губчастого за результатами візуального контролю.

Оцінку категорії якості шматків криці титану губчастого при її різанні на пресі НАО-242. Оцінку якості шматків криці титану губчастого при проведенні технологічної операції на першій стадії дроблення криці на пресі НАО-242 визначають за окремим планом якості за умови, якщо розкриваються внутрішні дефекти в шматках криці. У цьому випадку залежно від виду дефектних включень та їх об'ємної локалізації проводять такі дії:

1. При наявності на поверхні шматків дефектів відповідних зразкам шматки видаляють зі столу преса, завантажують у тару і направляють на переробку для виробництва титану губчастого марки ТГ-Тв.

2. При наявності на поверхні дефектів у вигляді локальних включень солі діхлориду магнію, що відповідають зразком, шматки криці видаляють зі столу преса, завантажують у тару і направляють на переробку для виробництва губчастого марки ТГ-Тв.

3. Отримані при різанні на пресі НАО-242 шматки криці титану губчастого з дефектами, що відповідають зразку, накопичують в окремій тарі і направляють на переробку в барабанний гуркіт, де поділяють на фракції - 30+12 мм або -70+12 мм, -12 +0 мм. Далі вібраційний гуркіт поділяє на фракції -12 +0 мм або -12 +5 мм, -5 +0 мм. Шматки губчастого титану, які залишились подрібнюють та сортують.

Вторинна переробка титану губчастого відбувається на щоккових дробарках шляхом дроблення шматків титану губчастого крупністю більше 70 мм до крупності не менше 70 мм. Далі на вібраційному грохоті поділяють на фракції -70 +0 мм або -70 +12 мм, -12 +0 мм. Вібраційний грохот №2 поділяє на фракції -12 +0 мм або -12 +2 мм, -2 +0 мм.

На контейнерній ділянці барабанний гуркіт поділяє на фракції -300 +0 мм або -300 +10 мм, -10 +0 мм. Установка розсіву поділяє на фракції -10 +0 мм або -10 +5 мм, -5 +0 мм.

Трисекційний барабанний гуркіт розділяє на фракції виходом з нього є фракцій більше 30 мм або більше 70 мм, -30 +25 мм або -70 +25 мм, -25 +12 мм і -12 +0 мм. Титан губчастий розміром більше 30 мм або більше 70 мм повертають назад на дроблення в дискову дробирку і після цього повторно направляються на розсів.

Віброгрохот розподіляє титан губчастий на фракції -12+0 мм, -12+2 мм та -2+0 мм. Перед завантаженням у проміжний контейнер фракції -30 +25 мм або -70 +25 мм, -25+12 мм об'єднують в одну фракцію -30+12 мм або -70+12 мм.

При пакуванні титану губчастого фракцій $-30+12$ мм, або $-70+12$ мм, за допомогою лотка, що колихається вібрацією, на пристрої для пакування титану губчастого відсівають фракцію $-7+0$ мм, яку передають на склад або на вторинну переробку.

2.3 Методика виявлення дефектних включень у зразках титану губчастого

Візуальний контроль титану губчастого ведуть послідовно на всіх етапах переробки і закінчують візуальним контролем товарних фракцій на стрічках транспортерів, призначених для візуального контролю. Губчастий титан, розташований на стрічці моношаром, рухається зі швидкістю конвейера 5,9 м/хв. На транспортерній стрічці від загального потоку відбирають шматки губчастого титану з дефектами відповідно зразкам, описаним в ДСТУ 17746-96 [30], також сторонні предмети і механічні домішки. Виконують магнітне очищення потоку шматків титану губчастого. Добірні шматки титану губчастого поміщають у тару і направляють на вторинну переробку титану губчастого або для виробництва ТГ-Тв.

Для забезпечення оптимальних умов візуального контролю титану губчастого середня продуктивність конвейера для фракції $-30+25$ мм або $-70+25$ мм, $-25+12$ мм становить не більше 25 кг/хв, а для фракції $-300+0$ мм або $-10+2$ мм, не більше 5 кг/хв.

За характером дефектних включень блоки титану губчастого поділяють на горілі, окислені, хлоридні, шламісті, збагачені залізом зі сторонніми предметами і механічними домішками. Технічні вимоги до зовнішнього вигляду і порядок класифікації блоку титану губчастого надано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні вимоги до зовнішнього вигляду і порядок класифікації блоку титану губчастого

Найменування	Технічні вимоги
Блоки губчастого титану горілі	Блоки губчастого титану з включеннями білого, біло-жовтого, коричневого кольорів
Блоки губчастого титану окисленні	Блоки губчастого титану з включеннями темно-жовтого і синього кольорів побіжалості, а також зі слідами від темно-жовтого до світло-жовтого кольорів
Блоки губчастого титану хлоридні	Блоки губчастого титану з включеннями діхлориду магнію у вигляді гранул, кристалів білого нальоту на поверхні блока або всередині блока
Блоки губчастого титану шламісті	Блоки губчастого титану з включеннями у вигляді рихлої плівки темно-сірого кольору по всій поверхні, а також з включеннями чорного або темно-сірого
Блоки губчастого титану залізні	Блоки губчастого титану з слідами оплавлення в місцях торкання блоків з ретортою

2.4 Методика розсіву та комплектування товарних партій

Розсівання титану губчастого здійснюють у барабанних грохотах по фракціях: $-5+0$ мм, $-12+5$ мм, $-70+12$ мм, $+70$ мм. Потім титан губчастий фракції $-5+0$ мм розсівають на повітряному класифікаторі або віброгуркоті на дві фракції $-2+0$ мм і $+5$ мм. Фракція $-2+0$, в якій концентрується багато домішок (особливо заліза) і має низьку якість, направляється на комплектацію титанової губки ТГ-Тв. Титанову губку фракцій $-5+2$ мм, $-12+5$ мм, $-70+12$ мм сортують вручну на стрічкових конвеєрах для видалення сторонніх предметів та дефектних за зовнішніми ознаками шматків титанової губки (окислених, озалізнених, шламістих та ін.). Після сортування титан губчастий фракцій $-5+2$ мм, $-12+5$ мм і $-70+12$ мм комплектують в окремі товарні партії і затарюють в герметичні контейнери місткістю $0,25 \text{ м}^3$ і $0,50 \text{ м}^3$, що виготовлені з алюмінієвих сплавів або сталі. Титанову губку, призначену для тривалого зберігання, упаковують в герметичні сталеві бочки з поліетиленовим мішком (рис. 2.2). Контейнери й бочки з губкою вакуумують й заповнюють аргоном.

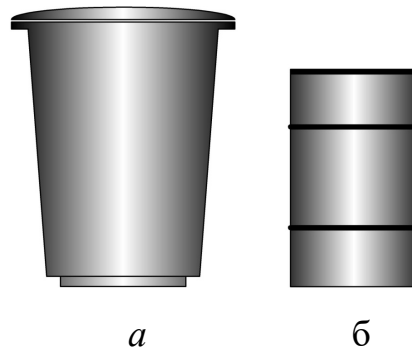


Рисунок 2.2 – Тара для пакування товарного титану губчастого місткістю $0,50 \text{ м}^3$ (а) і $0,25 \text{ м}^3$ (б)

Неякісну титанову губку та всі відходи комплектують за видами і фракціями, пресують на пресах типу Б-6238 в брикети діаметром до 160 мм і висотою від 20 до 180 мм, і затарюють у контейнери.

Затарювання і маркування товарних партій титанової губки виробляють тільки після отримання повного аналізу якості. Для збільшення виходу якісної титанової губки додатково дроблять і сортують всі перелічені відходи від блоку та гарнісажу. При цьому застосовують й магнітну сепарацію.

Заповнені алюмінієві контейнери або бочки подаються для ущільнення на вібростенд на 1–2 хв, потім на електронні або механічні ваги. Після зважування контейнер або бочка знімається з вагів, накривається кришкою, забовчується і опломбовується. Контроль герметичності з'єднання кришок з контейнером заповненим титановою губкою складається з візуальної перевірки наявності всіх болтів на кришці; ручної перевірки затягування всіх болтів; візуальну перевірку стану (положення) прокладки між контейнером і кришкою; перевірки відсутності сходу ущільнювальної прокладки з паза щупом товщиною не більше 2 мм.

Маркіровані та підготовлені контейнери з титановою губкою вивозяться на контейнерний майданчик, де виставляються строго по партіях комплектно. Підготовлені бочки з титановою губкою вивозяться у відділення обробки бочок. За допомогою електронавантажувача бочки виставляються в кантувателі, кантуються у вертикальне положення. Потім відгвинчують пробку,

замість неї в гніздо приєднують штуцер, з'єднаний з шлангом вакуумної системою насоса НВЗ-300, відкривають вентиль на колекторі вакуумної системи. Бочку відкачують до залишкового тиску 67 кПа.

Після відкачування вентиль на вакуумному колекторі закривається, і якщо немає натікання, зафіксованого за мановакуумметром, відкривається вентиль на колекторі аргонової лінії. Задається аргон до атмосферного тиску, закривається вентиль, від'єднується шланг від бочки і закручується пробка з гумовою прокладкою. Бочки маркуються.

Бочки кантователем перекидаються в горизонтальне положення і електронавантажувачем складуються в штабелі у три яруси з дерев'яними прокладками з упорами товщиною не менше 50 мм між рядами бочок.

2.5 Методики аналізу дефектів зберігання титану губчастого

2.5.1 Методика рентгенофазового аналізу

Рентгенофазовий аналіз дозволяє визначати параметри кристалевої ґратки невідомої речовини. Якісний рентгенофазовий аналіз виконується на дифрактометрі ДРОН та полягає в тому, що кожна кристалічна фаза дає індивідуальну дифракційну картину, зумовлену положенням ліній та їх інтенсивністю. Рентгенограма суміші декількох фаз є результатом накладання рентгенограм кожної з них. Тому визначення однієї фази або суміші декількох фаз здійснюється шляхом порівняння рентгенограм відомих і досліджуваної речовини.

Рентгенографічне визначення параметрів кристалевої ґратки металів (або їх сполук) зводиться до зіставлення даних експерименту $d(hkl)$ і $I(hkl)$ з такими самими даними (параметрами) з довідника або картотеки JCPDS.

2.5.2 Методика електронно-мікроскопічного аналізу

Електронно-мікроскопічний аналіз поверхні зразків титану губчастого проводиться на растровому електронному мікроскопі з роздільною здатністю 35 нм з використанням У-модуляції для оцінювання топографії поверхні.

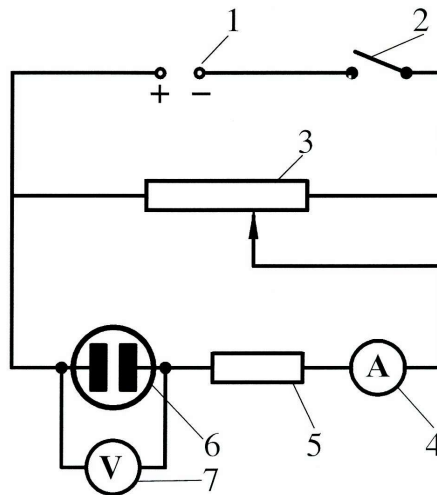
2.5.3 Методика спектрального аналізу

Елементний склад регламентованих домішок титану губчастого визначається спектральним аналізом, що полягає у прямому вимірюванні інтенсивності спектральної лінії за допомогою фотоелектричного приймача світла на стаціонарному спектрометрі «Spectromax» [39-41].

2.6 Методика визначення корозійної активності

Щільність струму визначають шляхом вимірювання сили струму та різниці потенціалів між однаковими електродами з одного і того самого металу, зануреними в електроліт, одночасно катодно- і аноднополяризованими від зовнішнього джерела струму [42]. Поляризаційне зрушення потенціалів, що характеризує роботу мікрогальванічних елементів, визначається як вимірювана різниця потенціалів за вирахуванням омичного падіння потенціалу в електроліті вимірювальної комірки.

Схема установки для вимірювання спрощених поляризаційних кривих приведена на рис.2.3. Як електроди використовуються металеві пластини з відполірованою поверхнею, виготовленні з технічного титану марки VT1-0. Величина робочої поверхні одного електроду складає 40 см². Вимірювання проводиться з термостатуванням електролітичної комірки при 20 °С без перемішування електроліту. Опір електроліту визначається за допомогою моста змінного струму.



1 – джерело живлення; 2 – рубильник; 3 – движковий реостат;
4 – мілівольтметр; 5 – шунт мілівольтметра; 6 – досліджувана
комірка; 7 – мілівольтметр

Рисунок 2.3 – Схема установки для вимірювання спрощених
поляризаційних кривих

Для вимірювання поляризаційної кривої замикають рубильники і за допомогою движкового реостата (рис.2.4) встановлюють в ланцюзі струм порядку 5 мкА. Вичікують деякий час – до встановлення стаціонарного значення сили струму в ланцюзі, а потім вимірюють вольтметром потенціал електроду [43-45]. Далі записують силу струму за свідченнями амперметра, яка відповідає цьому потенціалу.

Далі послідовно збільшують силу струму в ланцюзі, проводячи після кожного нового його значення вимір потенціалу і відповідної йому сили струму.

Дослідження закінчують після декількох вимірів в області за граничним дифузійним струмом. Після закінчення досліду вимикають рубильники, витягують з комірки електроди, промивають їх водою і сушать фільтрувальним папером. Розчин з комірки виливають і обполіскують комірку водою.

2.7 Методика виявлення та спостереження за утворенням дефектів зберігання титану губчастого

Визначена кількість (проба) губчастого титану усереднюється та розділяється на визначену кількість однакових наважок. Кожна наважка поміщається в окремий сталевий контейнер, внутрішня поверхня якого покривається шаром захисного матеріалу. Контейнери герметизуються, створюється вакуум до відповідного залишкового тиску (1 Па) і заповнюється аргоном до заданого тиску. У трьох контейнерах наважки зволожуються шляхом уприскування води в кожен контейнер. Губчастий титан витримується в замкнутому об'ємі протягом заданого часу. Через встановлений термін контейнери розкриваються для візуального виявлення дефектів зберігання губчастого титану.

Наступні проби губчастого титану поміщаються в герметичні контейнери, заповнені вологим повітрям. Контейнери поміщаються в термостат з постійною температурою для уникнення конденсації вологи, і витримуються протягом заданого часу. Аналогічні досліді проводяться з приміщенням губчастого титану в скляні контейнери з ґратами, під які заливається вода. Частину контейнерів зберігають при постійній кімнатній температурі, а частину – в умовах, що допускають систематичний перепад температур. Періодично контейнери розкривають і візуально оглядають титан губчастий.

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження фазового складу зразків титану губчастого з дефектами зберігання

Блок титану губчастого тривалий період часу (від його вилучення з герметичного реактора до переплавлення на компактний злиток) перебуває у контакті з навколишнім середовищем. При переробці титану в товарні партії в результаті перепаду температур можлива об'ємна конденсація води з навколишньої атмосфери. Розвинена поверхня, обумовлена наявністю пір, утрудняє видалення води шляхом природного випаровування. Тому зволоження губчастого титану конденсатною вологою може бути скільки завгодно великим.

Наявність у магнієтермічному губчастому титані залишкового іона хлору, у вигляді, в основному, гігроскопічного хлориду магнію [2,33,34], не тільки підвищує вірогідність поглинання вологи поверхнею титану губчастого, також приводить до утворення хлористого водню. Хлороводень, розчиняючись в конденсатній воді, може вступати у взаємодію з титаном. Наслідки взаємодії з домішками для титану виявляються значно істотнішими, ніж для більшості інших широко використовуваних конструкційних матеріалів.

Вказані обставини створюють проблему, зумовлену утворенням так званих дефектів зберігання. В даному випадку мова йде про появу на поверхні окремих кусків титану губчастого забарвлених плям сіро-жовтого, бурого або сіро-блакитного кольору з різними проміжними відтінками. Ці дефекти виникають після достатньо тривалого перебування титану в герметичній тарі. Рідше за них виявляють і на губчастому титані, що знаходився в герметичній тарі в атмосфері повітря. Дефекти зберігання забарвлені менш інтенсивно, ніж дефекти виробництва та дефекти, що утворилися в результаті високотемпературного окислення або азотування, і можуть бути візуально відрізнені від останніх.

Методи аналітичного контролю титану губчастого не виявляють відчутних змін у якості зразків з дефектами зберігання порівняно із зразками без них. Уявлення, що склалося, про губчастий титан як початковий матеріал для отримання компактного металу дає можливість його споживачам дефекти зберігання з погляду впливу на якість металу відносити їх до тієї ж категорії, що і дефекти виробництва.

У зв'язку з тим, що умови зберігання титану губчастого впродовж багатьох років не змінювалися, а узгодженого уявлення про вплив дефектів зберігання на якість титанових злитків, що виплавляються, між споживачами і виробниками губчастого титану не опрацьовано, виникла необхідність додаткового вивчення питань, пов'язаних з утворенням дефектів зберігання.

Дефекти титанової губки визначаються візуально і виявляються у вигляді забарвлених тонких плівок або у вигляді нальотів від темно-синього до білого кольору. За винятком дуже товстих нальотів, вони міцно пов'язані з поверхнею титанової губки. Найтонші плівки мають золотисте забарвлення і в основному виявляються на кричких шматках. Дефекти титанової губки порівняно часто представлені блакитними плівками, які в товстих шарах мають темно-фіолетовий колір, а до периферії поступово змінюють забарвлення на ясно-жовте.

Спроби механічного відокремлення забарвлених плівок від металевої основи з метою отримання матеріалу в кількості, достатній для аналізу традиційними методами, не дали позитивних результатів через малу товщину плівки і наявність великої кількості вельми тонких пор у губчастому титані. Тому для аналізу використовувався губчастий титан, збагачений плівками, який отримували шляхом механічного видалення дефектної плями з основної маси металу. Отримані у такий спосіб зразки піддавали хімічному, рентгенофазовому, електронно-мікроскопічному і спектральному аналізам. Крім того, проводили вимірювання питомої поверхні методом теплової десорбції аргону. Для зіставлення перерахованим видам аналізам піддавали також окислені дефекти виробництва і зразки якісного титану губчастого.

Аналізом елементного складу регламентованих домішок виявлених підвищений вміст кисню і хлору в дефектах зберігання порівняно з якісною губкою (табл. 3.1). Вміст кисню в дефектах виробництва був значно вищий, ніж в дефектах зберігання. Вміст азоту в дефектах зберігання в середньому склав 0,009 % і був зіставний з його вмістом в якісному титані губчастому (0,008-0,010 %), тоді як в окислених дефектах виробництва він коливався в межах 0,112-0,074 % і, в середньому, складав 0,093 %.

Таблиця 3.1 – Усереднені дані поелементного аналізу зразків титану губчастого

Характеристика зразків	Масова частка домішок, %								
	кисень			азот			хлор		
	максимальна	мінімальна	середня	максимальна	мінімальна	середня	максимальна	мінімальна	середня
Дефекти зберігання	0,13	0,07	0,10	0,011	0,007	0,009	0,13	0,09	0,11
Дефекти виробництва	1,24	0,18	0,71	0,112	0,074	0,093	0,10	0,06	0,08
Якісний титан губчастий	0,07	0,05	0,06	0,010	0,008	0,009	0,11	0,05	0,08

Рентгенофазовий аналіз поверхні не виявив істотних відхилень в зразках дефектів зберігання порівняно з якісним губчастим титаном (табл. 3.2), за винятком дефектів зберігання бурого кольору, в яких разом з α -Ті виявлявся твердий розчин водню в α -Ті.

Таблиця 3.2 – Результати рентгенофазового аналізу титану губчастого

Характеристика зразків	Параметри ґратки, нм		Фазовий склад
	<i>a</i>	<i>c</i>	
Якісна губка	2,973	4,762	α -Ті
Сіро-жовтий дефект	2,972	4,762	α -Ті
Сіро-голубий дефект	2,973	4,762	α -Ті

Електронно-мікроскопічний аналіз поверхні зразків губчастого титану проводили на растровому електронному мікроскопі з використанням У-модуляції для оцінювання топографії поверхні.

Результати аналізу надано на рис. 3.1, рис. 3.2, рис. 3.3 у вигляді фотографій поверхні зі збільшенням $\times 600$.

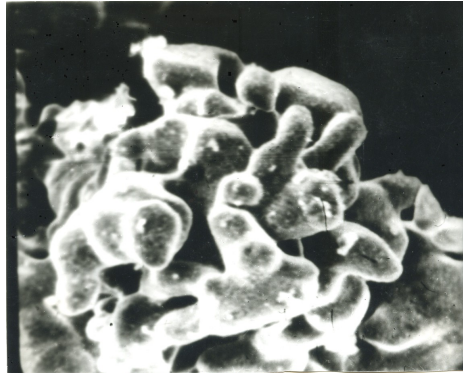


Рисунок 3.1 – Поверхня титанової губки з дефектами зберігання, $\times 600$

Дефекти зберігання мають розвиненішу поверхню з високим коефіцієнтом U -модуляції, ніж якісний титан губчастий, що зумовлено більшою шорсткістю. На фотографії поверхні дефектів зберігання (рис. 3.1) виразно є видимими окремі рихлі краплі.

Поверхня зерен якісної губки по рельєфу однорідніша (рис. 3.2).

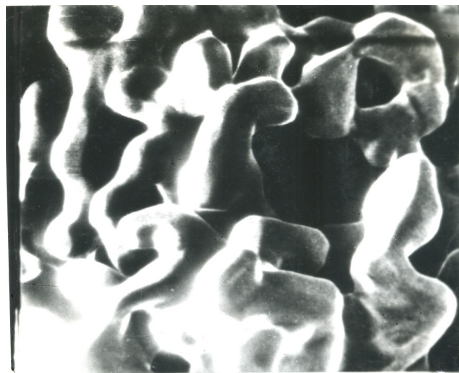


Рисунок 3.2 – Поверхня якісного титану губчастого, $\times 600$

Поверхня окислених дефектів виробництва по контурах і шорсткості (рис. 3.3) значно відрізняється як від поверхні якісної губки, так і від поверхні дефектів зберігання.

Вимірюванням питомої поверхні зразків отримано наступні результати: якісний титан губчастий $0,1-0,2 \text{ м}^2/\text{г}$, дефекти зберігання $0,4-0,6 \text{ м}^2/\text{г}$, окислені

дефекти виробництва 1-3 м²/г.

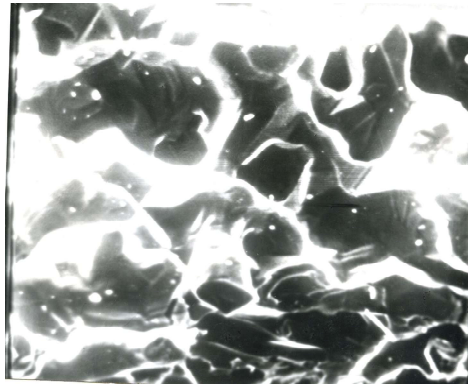


Рисунок 3.3 – Поверхня окислених дефектів виробництва, х600

Отже, в результаті аналізу поверхні дефектів зберігання встановлено, що порівняно з якісним титаном губчастим в них спостерігається незначне підвищення вмісту кисню і хлору.

У дефектах виробництва, на відміну від дефектів зберігання, вміст кисню і азоту значно вищий: по кисню, в середньому, в 6 разів, а по азоту – в 12 разів. Поверхня дефектів зберігання розвиненіша, ніж поверхня якісного губчастого титану, але значення її питомої величини нижчі, ніж у окислених дефектів виробництва. На поверхні дефектів зберігання, на відміну від якісного губчастого титану і окислених дефектів виробництва спостерігаються рихлі включення. Остання обставина, мабуть, і зумовлює менш інтенсивне забарвлення дефектів зберігання порівняно з дефектам виробництва.

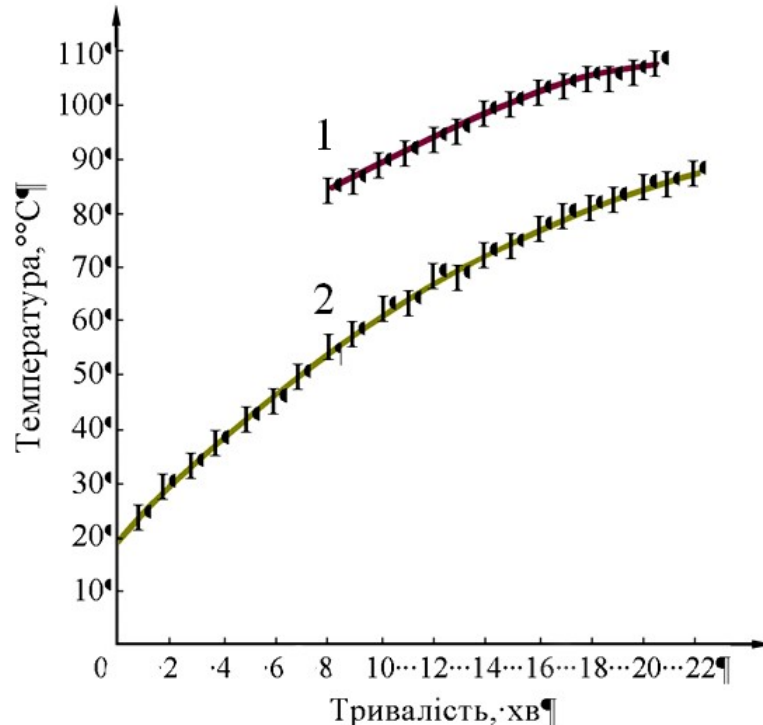
Істотною відмінністю дефектів зберігання є підвищений вміст водню, який однозначно відрізняє їх як від якісного титану губчастого, так і від окислених дефектів виробництва.

3.2 Дослідження впливу умов дроблення титану губчастого на імовірність його окислення

Для дослідження впливу умов дроблення титану губчастого на можливість утворення дефектів зберігання внаслідок нагрівання та окислення

металу вивчали зміну якості металу дроблених партій при подрібненні його до 12 мм на вживаних конусних дробарках. Досліджували проби від 22 партій губчастого титану поточного виробництва. Від кожної партії відбирали по дві паралельні проби масою 4 кг. Одну з них використовували для визначення якості губчастого титану. З паралельної проби після дроблення відбирали метал, що важко подрібнюється, у вигляді наклепаних пластин, лусочок, окатишей. З цього металу, відібраного від партій, близьких за твердістю, комплектували проби, визначали їх якість і зіставили з якістю партій, від яких був відібраний матеріал, що важко подрібнюється. В процесі дроблення вимірювали температуру поверхні роздробленого металу. Результати вимірювання температури під час дроблення для трьох паралельних зразків кожної партії губчастого титану протягом до 22 хв надано в таблиці 3.3.

Залежність підвищення температури металу від тривалості дроблення протягом до 22 хв. партій губчастого титану на приведена на рис. 3.4.



1 – основна маса металу; 2 – метал, що важко подрібнюється

Рисунок 3.4 – Вплив тривалості дроблення на температуру губчастого титану

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання температури титану губчастого під дроблення

Тривалість, хв.	Температура зразків титану губчастого, °С							
	основна маса металу				метал, що важко подрібнюється			
	зразок 1	зразок 2	зразок 3	середня	зразок 1	зразок 2	зразок 3	середня
	18,7	18,2	18,6	18,5				
1	23,5	23,1	23,0	23,2	–	–	–	–
2	27,8	27,6	28,6	28,0	–	–	–	–
3	32,2	32,5	32,2	32,3	–	–	–	–
4	36,9	36,9	37,2	37,0	–	–	–	–
5	41,0	41,4	40,9	41,1	–	–	–	–
6	45,2	44,7	45,1	45,0	–	–	–	–
7	49,9	50,3	50,1	50,1	–	–	–	–
8	52,0	52,5	52,1	52,2	82,1	81,9	82,1	82,3
9	56,7	57,0	55,8	56,5	86,0	85,7	86,1	86,2
10	60,3	60,0	59,7	60,0	88,5	88,7	89,0	87,8
11	61,8	61,9	62,3	62,0	91,4	91,1	91,1	91,2
12	66,1	65,8	66,1	66,0	92,5	92,3	92,8	92,4
13	69,4	68,9	69,0	69,1	96,5	96,7	96,2	96,6
14	70,6	70,5	71,3	70,8	98,5	98,4	99,5	98,8
15	72,9	72,8	73,3	73,0	100,1	99,8	100,2	100,3
16	75,9	76,4	75,7	76,0	101,2	101,1	101,3	101,2
17	77,7	78,1	78,2	78,0	103,1	103,6	102,0	102,9
18	80,2	79,7	80,1	80,0	105,0	104,6	105,1	105,3
19	81,1	81,3	81,5	81,3	106,2	106,5	107,1	106,6
20	81,6	81,8	82,6	82,0	107,0	107,0	106,4	106,8
21	83,1	83,2	84,2	83,5	107,5	107,3	108,6	107,8
22	85,2	84,9	84,9	85,0	108,0	107,9	108,4	108,1

Основна кількість матеріалу, що важко подрібнюється та становить в окремих пробах до 8 % від маси, знаходиться в дробарці практично до закінчення процесу дроблення. Це підтверджує припущення, що ці куски лімітують процес дроблення. Тривалість подрібнення проб, що містять 5-7 % в'язких щільних кусків, в 2-3 рази перевищує тривалість дроблення проб, де міститься не більше 1 % такого металу.

Результати визначення хімічного складу і твердості різних категорій металу показали, що метал, який важко подрібнюється, має більшу, в

середньому на 50 МПа, твердість і більший вміст кисню, і азоту порівняно з основною масою партії. Проте саме цей метал часто видаляють з партії через великі розміри кусків і важку пресуваність електроду, що витрачається. Очевидно, що метал, який важко подрібнюється, найбільшою мірою піддається нагріванню при дробленні.

За даними роботи [22], нагрівання титану губчастого до температури 70 °С приводить до підвищення вмісту кисню на 0,005 %. Відомо, що підвищення вмісту кисню на 0,005 % відповідає приросту твердості на 30 МПа [23,24]. Розрахунок показує, що при вмісті в пробі 5 % металу, що важко подрібнюється, як це було у випробуваних партіях, збільшення уявної твердості порівняно з істинною тільки за рахунок нагрівання металу складає 4 МПа. Проведене дослідження вказує, що використане в даний час дробильне обладнання не відповідає вимогам, що висуваються до дроблення титану губчастого.

Таким чином, дробильне обладнання, що використовується в даний час для дроблення губчастого титану, є джерелом нагрівання титанової губки до температур близько 70-80 °С, в окремих випадках до 108 °С.

Внаслідок нагрівання титану губчастого його поверхня після вивантаження з дробарки при остиганні до температури навколишнього середовища додатково зволожується. Отже, дробильне обладнання є додатковим джерелом утворення дефектів зберігання.

3.3 Дослідження щодо утворенням дефектів зберігання титану губчастого

Для моделювання процесів утворення дефектів зберігання було виконано декілька серій експериментів. Умови експериментів задавалися виходячи з обов'язкової наявності конденсатної вологи в процесі витримки зразків.

Оскільки підготовка промислових товарних партій титану губчастого проводиться при низьких температурах 10-30 °С, тому і дослідження

виконували при кімнатних температурах. Зволоження титану губчастого досягалося конденсацією вологи в замкнутому об'ємі при перепаді температур навколишнього середовища. В деяких випадках для ідентифікації отриманих результатів активно втручалися в процеси, що відбуваються природно.

Під час першої серії технологічних досліджень усереднену пробу титану губчастого масою 24 кг розділяли на шість однакових наважок. Кожну наважку масою 4 кг поміщали в окремий сталевий контейнер. Контейнери герметизували, вакуумували. У трьох контейнерах наважки зволожували шляхом уприскування води в кожен контейнер. Губчастий титан витримували в замкнутому об'ємі протягом 90 діб. Через кожні 10 діб контейнери розкривали і проглядали губку для візуального виявлення дефектів зберігання.

Після першого розтину дефекти зберігання візуально не виявлялися. Після другого розтину на зволоженій губці спостерігалися забарвлені плями сіро-жовтого кольору, що візуально виявлялися. Площа плям, що підсумовується по трьом контейнерам, склала близько 1 % від загальної геометричної поверхні губки. У міру збільшення тривалості витримки площа, покрита плямами, збільшувалася, а інтенсивність жовтого відтінку бліднула, переходячи в бурі тони (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Вплив умов витримки титану губчастого на утворення дефектів

Час, доба	Частка поверхні титану губчастого з дефектами після витримки, %							
	без опромінювання				при опромінюванні			
	серія 1	серія 2	серія 3	середнє	серія 1	серія 2	серія 3	середнє
2	0	0	0	0	9,64	9,88	10,30	9,94
5	0	0	0	0	21,45	21,62	21,76	21,61
10	0,45	0,50	0,49	0,48	25,08	24,68	24,76	24,84
20	4,37	4,58	4,61	4,52	25,97	26,03	26,39	26,13
30	10,57	10,69	10,69	10,65	27,29	27,46	27,51	27,42
40	18,32	17,74	18,63	18,23	28,06	28,53	28,58	28,39
50	26,45	26,62	27,24	26,77	28,87	29,15	29,07	29,03
60	28,72	29,33	29,52	29,19	29,40	29,26	29,39	29,35
70	29,63	28,87	30,06	29,52	29,58	29,55	29,91	29,68
80	29,67	29,51	29,86	29,68	29,64	28,79	30,61	29,68
90	28,91	30,05	30,08	29,68	29,84	28,98	30,22	29,68

Залежність площі, займаної кольоровими плямами, від тривалості витримки в атмосфері аргону описується S-образною кривою, що має індукційний період (рис. 3.5).

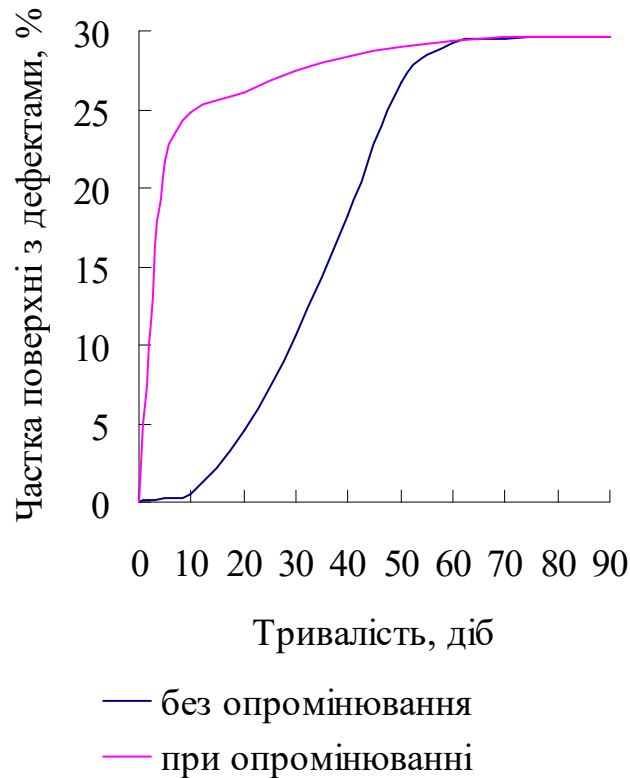


Рисунок 3.5 – Вплив умов витримки титану губчастого на утворення дефектів

Під час досліджень спостерігалось, по-перше, що зростання кожної плями розвивається від центру до периферії і, по-друге, що інтенсивність забарвлення вище в центрі зародження плями, особливо в тріщинах і порах. У місцях ущільнення губчастого титану ріжучим інструментом при дробленні інтенсивність жовтого кольору була максимальною, а в деяких випадках точкові плями спочатку мали яскраво-блакитне забарвлення. У незволоженому титані губчастому дефекти зберігання візуально не виявлялися протягом всього терміну витримки.

У другій серії технологічних експериментів титан губчастий поміщали в герметичні контейнери, заповнені повітрям при кімнатній температурі з 100 % відносною вологістю. Контейнери поміщали в термостат з постійною

температурою для уникнення конденсації вологи, і витримували протягом 90 діб. Аналогічні досліди проводилися з приміщенням титану губчастого в контейнери, під грати яких заливалася вода, що забезпечує 100 % вологість атмосфери. Частину контейнерів зберігали при постійній кімнатній температурі, а частину – за умов, що допускають систематичний перепад температур 10-25 °С. Періодично контейнери розкривали і проглядали губку.

Після 90-добового зберігання губчастого титану в герметичних контейнерах дефекти зберігання візуально не виявлялися. Після розтину контейнерів, що зберігалися протягом 60 діб при перепаді температур, в щілинах і порах губки виявлялися дефекти зберігання переважно сіро-жовтого кольору. Протягом наступного місяця інтенсивність забарвлення, розміри і розташування дефектів не змінилися.

На титані губчастому, що витримується при постійній температурі, дефекти зберігання візуально не виявлялися впродовж всього терміну витримки.

Протягом третьої серії експериментів губчастий титан поміщали в тонкостінні скляні контейнери, під грати яких заливалася вода. Контейнери зберігали в умовах перепаду температур навколишнього середовища. Частина з них опромінювалася ультрафіолетовим світлом. Інша частина зберігалася в темноті. У цій серії експериментів було встановлено, що початкова швидкість дефектоутворення при УФ-опромінюванні в десятки разів вища, ніж в темноті, і індукційний період на S-подібній кривій відсутній (рис. 3.5).

У наступній серії експериментів зразки губчастого титану з дефектами зберігання розчиняли в 20 % соляній кислоті при кімнатній температурі. Результати розчинення зразків губчастого титану у 20 % розчині HCl приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Дослідження розчинення титану губчастого з дефектами зберігання в 20 % розчині HCl

Час, годин	Маса зразка, г			Площа поверхні, м ²	Втрата маси, г/м ²
	вихідна	кінцева	різниця		
1	178,844	169,934	8,910	48,31	0,165
	183,568	174,505	9,063	49,57	0,159
	181,206	172,215	8,991	48,94	0,162
2	185,167	173,503	11,664	44,87	0,243
	182,472	169,424	13,048	49,82	0,233
	183,819	171,443	12,376	47,34	0,238
3	173,512	158,620	14,892	46,73	0,292
	167,891	151,171	16,720	49,38	0,304
	170,702	154,908	15,794	48,06	0,298
4	174,136	156,616	17,520	45,89	0,365
	177,523	157,057	20,466	46,41	0,379
	178,831	159,859	18,972	46,15	0,372

Результати розчинення зразків якісного губчастого титану в 20 % розчині HCl при 20 °C приведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Дослідження розчинення якісного титану губчастого в 20 % розчині HCl

Час, годин	Маса зразка, г			Площа поверхні, м ²	Втрата маси, г/м ²
	вихідна	кінцева	різниця		
1	158,978	157,458	1,520	18,32	0,095
	161,274	159,961	1,313	17,687	0,101
	160,126	158,705	1,421	18,036	0,098
2	173,271	171,256	2,015	16,49	0,155
	191,074	188,792	2,282	17,97	0,163
	182,173	180,026	2,147	17,35	0,159
3	177,925	174,913	3,012	18,47	0,251
	169,741	165,678	4,063	15,58	0,239
	173,833	170,280	3,553	17,31	0,245
4	181,252	177,024	4,228	17,46	0,302
	186,718	181,694	5,024	17,33	0,314
	183,985	179,365	4,620	17,72	0,308

Результати розчинення зразків окислених дефектів виробництва, що еталонують, при 20 °С у 20 % розчині НСІ приведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Дослідження розчинення окислених дефектів виробництва титану губчастого в 20 % розчині НСІ

Час, годин	Маса зразка, г			Площа поверхні, м ²	Втрата маси, г/м ²
	вихідна	кінцева	різниця		
1	184,192	173,920	10,272	156,4	0,048
	176,359	165,181	11,178	171,8	0,054
	182,276	171,541	10,735	165,3	0,051
2	173,586	156,474	17,112	178,9	0,093
	179,957	163,976	15,981	174,6	0,085
	176,772	160,218	16,554	175,8	0,089
3	181,296	155,920	25,376	182,1	0,122
	178,994	151,926	27,068	177,8	0,134
	180,154	153,914	26,240	180,9	0,128
4	187,713	150,561	37,152	176,9	0,172
	179,431	145,988	33,443	180,4	0,160
	183,725	148,451	35,274	178,9	0,166

Початкові швидкості розчинення в 20 % соляній кислоті зразків губчастого титану з дефектами зберігання порівнювали з розчиненням якісних зразків, а також з окисленими дефектами виробництва, що еталонують. Кінетичні криві розчинення титану губчастого з дефектами зберігання, зразків якісного губчастого титану і окислених дефектів виробництва, що еталонують, приведені на рис. 3.6.

Характер розчинення дефектів зберігання і їх швидкості розчинення після завершення кінетичної стадії та утворення дифузійного шару продуктів взаємодії не відрізняються від розчинення якісного титану губчастого. Тривалість кінетичної стадії практично однакова. Кінетичні криві дифузійної ділянки паралельні. Це вказує на відсутність додаткових елементів опору розчиненню металу під плівкою, утвореною дефектами зберігання. Остання обставина зумовлена, мабуть, значною пористістю плівки і незначною її товщиною.

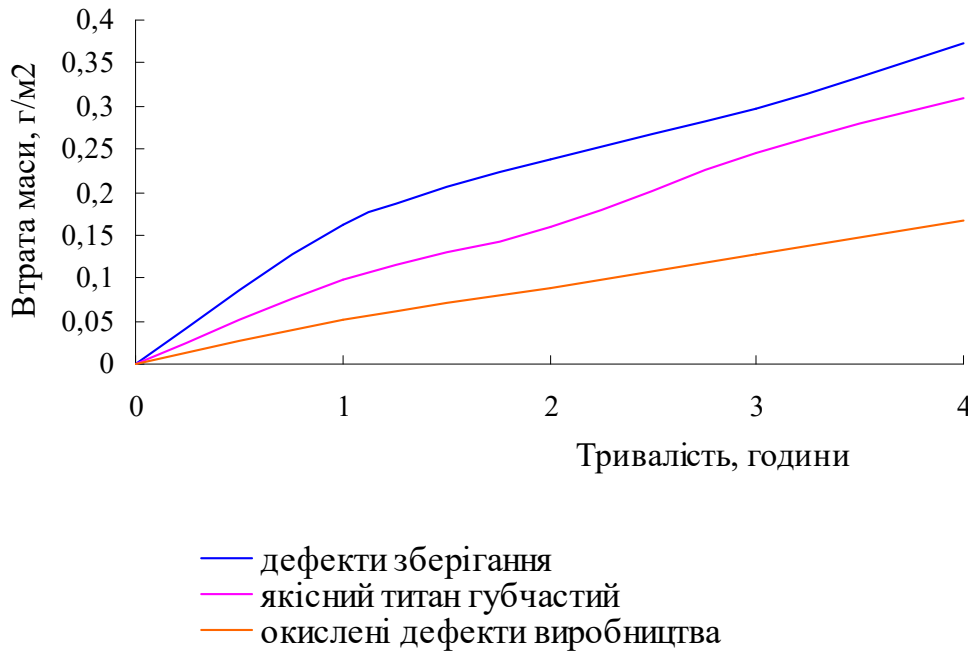


Рисунок 3.6 – Кінетика розчинення губчастого титану в 20 % HCl

Таким чином, з приведених серій експериментів витікає, що основною умовою виникнення дефектів зберігання є присутність води, що сконденсувалася, на поверхні титану губчастого, що знаходиться в замкнутому об'ємі. Проява і розвиток дефектів зберігання протікає в часі. Досягнувши певного кількісного рівня їх розвиток припиняється. УФ-опромінювання значно скорочує експозицію прояву дефектів зберігання. Наявність окислювальної атмосфери знижує кількісні показники дефектоутворення порівняно з нейтральною. Дефекти зберігання, не зважаючи на зовнішню схожість з дефектами виробництва, що еталонують, відрізняються від останніх по деяких фізико-хімічних характеристиках.

3.4 Ідентифікація дефектів зберігання методом корозійної активності

Утворення дефектів зберігання титану губчастого відбувається у присутності вологи, що сконденсувалася. Це свідчить на користь атмосферної корозії, яка по механізму наближається до електрохімічної корозії [43,45].

Під час електрохімічного процесу електрохімічні реакції здійснюються за участю вільних електронів, а іонізація атомів металу і відновлення окислювального компонента відбувається не в одному акті, їх швидкості залежать від величини електродного потенціалу металу [43,46].

Мірою швидкості електрохімічного процесу відповідно до закону Фарадея є щільність струму, оскільки

$$m = \gamma \cdot i \cdot \tau, \quad (3.1)$$

де m – маса відновленої на катоді або окисленої на аноді речовини, г;

$\gamma = M / (z \cdot F)$ – електрохімічний еквівалент;

M – молекулярна маса металу, г;

z – число електронів, що беруть участь в електрохімічному процесі;

F – число Фарадея, 96500 Кл/моль або 26,8 А·год/г;

i – щільність струму, А/см²;

τ – тривалість, годин

та

$$i = \frac{m}{\gamma \cdot \tau}. \quad (3.2)$$

Швидкість будь-якого електрохімічного процесу в загальному вигляді можна надати у вигляді [42]:

$$i = \frac{E}{R + P}, \quad (3.3)$$

де E – потенціал електродів;

R – омичний опір системи;

P – поляризаційний опір системи, тобто опір протіканню електродних процесів.

Для області не дуже малих значень щільності струму, де лімітуючим гальмуванням стає поляризаційний опір, залежність потенціалу електроду від швидкості процесу має вид рівняння Тафеля [42]:

$$E = a + b \lg i, \quad (3.4)$$

де a – стала, що залежить від матеріалу, стану поверхні електроду, температури та інших зовнішніх умов;

b – стала, що пов'язана з механізмом виникнення перенапруги іонізації металу або відновлення окислювального елемента [42]:

$$b = 2,303 \cdot \frac{2 \cdot R \cdot T}{z \cdot F}, \quad (3.5)$$

R – універсальна газова стала, 8,31 Дж/(моль·град);

T – абсолютна температура, К.

Приведені залежності можуть бути використаними для визначення щільності корозійного струму при здійсненні процесу електрохімічної корозії.

Для вимірювання спрощених поляризаційних кривих як електроди використовуються титанові пластини з відполірованою поверхнею. Величина робочої поверхні одного електроду складала 40 см². Як електроліт використовували 1 н. розчин HCl. Вимірювання проводили з термостатуванням електролітичної комірки при 20 °С без перемішування електроліту.

Поляризаційна крива, що отримана в умовах експерименту, приведена на рис. 3.7. Величина корозійного струму, обчислена за вищезгаданою методикою, має значення $5,38 \cdot 10^{-6}$ А/см². Розрахована швидкість корозії титану при знайденому значенні струму корозії дорівнює $5,04 \cdot 10^{-2}$ г/(м²·год) і вказує на електрохімічне розчинення титану в соляній кислоті, швидкість якого для запасиваних зразків, визначена за зміною маси, складає $5,38 \cdot 10^{-2}$ г/(м²·год.) Таким чином, дефекти зберігання титану губчастого виникають внаслідок атмосферної корозії, що протікає за електрохімічним механізмом.

Гальмування дефектоутворення у присутності кисню повітря і поява водню в дефектах зберігання в підвищених кількостях вказує на те, що електрохімічна корозія протікає із змішаним анодно-катодним контролем.

Наявність поляризаційного опору (рівняння (3.3)) в електрохімічній системі зумовлена відставанням електродних процесів від швидкості перетікання електронів в гальванічному елементі.

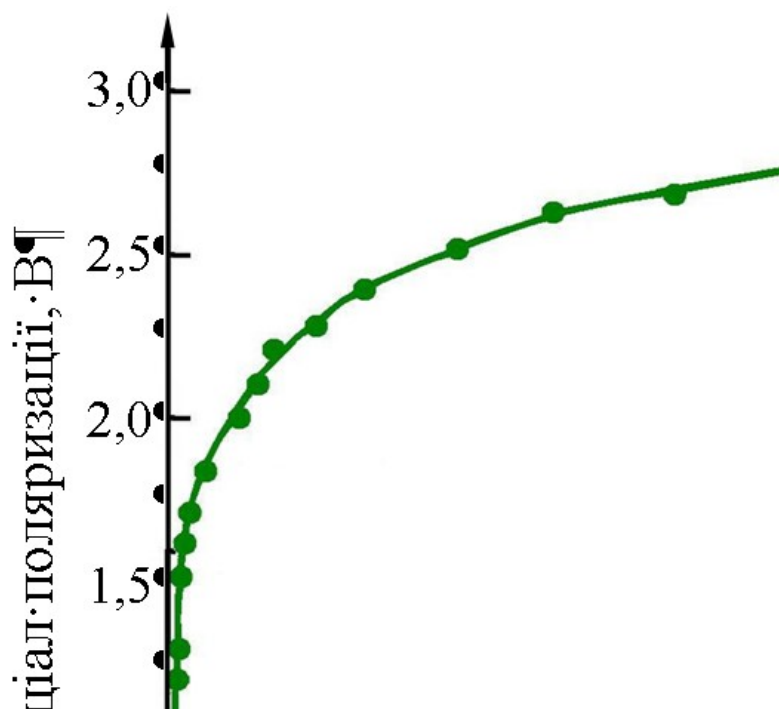


Рисунок 3.7 – Залежність щільності струму від напруги на титанових електродах в 1 н. розчині HCl

Якщо впливати на систему електрод–електроліт так, щоб збільшити швидкість електродних процесів, то в цьому випадку при одному і тому ж значенні рушійної сили швидкість електрохімічного процесу збільшиться порівняно з його швидкістю без такої дії. Використовуючи уявлення про кисневу і водневу деполяризацію [42], можна припустити, що дія на корозійну систему випромінювання з довжиною хвиль, що належать ультрафіолетовому діапазону [45], розгальмовуватиме процес за рахунок прискорення певних стадій. Якщо ця стадія виявиться лімітуючою, то слід чекати збільшення загальної швидкості процесу.

Це припущення перевірялося в серії дослідів шляхом здійснення корозійних випробувань титанових зразків при УФ-опромінюванні. Експериментальні дані (табл. 3.8) показують, що УФ-опромінювання збільшує швидкість електрохімічного процесу, яка при поляризації 2,2 В досягає 25-разового значення швидкості без опромінювання. Отримана залежність добре узгоджується зі збільшенням початкової швидкості утворення дефектів

зберігання губчастого титану при УФ-опромінюванні (рис. 3.8), що також свідчить про електрохімічний механізм корозії.

Таблиця 3.8 – Дослідження впливу опромінення на корозійну стійкість

Потенціал, В	Щільність струму, mA/cm^2	
	без опромінення	при опроміненні
0,5	0,0005	0,0020
0,8	0,0011	0,0045
1,0	0,0016	0,0077
1,2	0,0021	0,0120
1,4	0,0026	0,0210
1,6	0,0032	0,0360
1,8	0,0041	0,0700
2,0	0,0056	0,1200
2,2	0,0077	0,0190

Отримані результати вказують, що забарвлені плівки дефектів зберігання є продуктом електрохімічної корозії титану у присутності сконденсованої води і наявності залишкових солей. Ці дефекти як правило є гідратованими, і нічого спільного не мають з окисленими дефектами виробництва, наданими товстими плівками з об'ємною оксидно-нітридною фазою.

Зазвичай корозію металів прийнято класифікувати по механізму протікання, умовам виникнення і характеру утворення [43]. Губчастий титан за своєю макроструктурою не є компактною металевою системою. Наявність тонких пір і щілин, можлива присутність залишкових солей, зокрема гігроскопічного хлористого магнію здатного до того ж гідролізуватися з утворенням соляної кислоти, робить титан губчастий більш уразливим з погляду розвитку корозійних процесів, ніж компактний метал.

Тому, класифікуючи утворення дефектів зберігання як атмосферну корозію, слід мати на увазі, що вона одночасно є і щілинною. Початковий його період через присутність хлор-іона відповідає пітинговій корозії.

З урахуванням особливостей титану губчастого як металевої системи і експериментально отриманих результатів можна з достатньою мірою достовірності відзначити наступне.

Виникнення дефектів зберігання титану губчастого зумовлено атмосферною корозією щілинного типу, що протікає за електрохімічним механізмом і відповідною за характером утворення поразок корозії плямами з пітинговим початком.

При такій класифікації основними методами захисту від утворення дефектів зберігання є:

а) зменшення шару електроліту на поверхні металу шляхом зменшення вологості повітря (осушення), утруднення конденсації вологи (наприклад, кондиціонування приміщень переробки губки) і зменшення забрудненості металу солями, а навколишньої атмосфери пилом;

б) застосування анодних інгібіторів електрохімічної корозії – окислювачей (пасиваторів), до яких належить кисень. З погляду організації процесу зберігання губчастого титану найбільш доцільним є його зберігання в атмосфері повітря, а не аргону.

3.5 Оцінка способу пасивації поверхні титану губчастого для тривалого зберігання

Способи захисту губчастого титану від корозії випробували шляхом зменшення шару електроліту та із застосуванням кисню повітря як пасиватора.

Дослідження проводили в умовах жорсткої атмосферної корозії. Жорсткість досягалася можливістю постійної конденсації на поверхні зразків води або електроліту – 10 % розчин HCl. Зразки губчастого титану поміщали у контейнери з несправжнім днищем, під яке заливали воду або розчин HCl. Частину зразків витримували в атмосфері повітря без додаткового зволоження замкнутого об'єму. Тривалість корозійних випробувань склала 25 діб, оскільки триваліша витримка не приводила до подальшого розвитку і зростання дефектів.

Початкові зразки губчастого титану, а також зразки, що піддавалися корозійному випробуванню, аналізувалися для визначення твердості і вмісту

кисню, азоту і вуглецю. Результати випробувань представлені в таблиці 3.9 і таблиці 3.10.

Таблиця 3.9 – Вплив корозійного середовища на утворення дефектів титану губчастого

Номер досліджу	Корозійне середовище	Наявність дефектів на зразках
1	Вода	Солом'яно-жовті плями на щільних зразках. На місцях зрізу сині точкові дефекти.
2	Вода	На нещільних зразках дефекти відсутні.
3	Повітря	Сіро-жовті точкові плями на ущільнених ділянках в невеликій кількості.
4	Розчин HCl	Сіро-жовті суцільні плями на більшій частині поверхні. На місцях зрізу точкові сині плями.

Перші дефекти, що візуально виявляються, почали з'являтися через 7-10 діб у вигляді точкових солом'яно-жовтих або синіх плям.

Стабілізований дефект мав вже не обов'язково форму кругової плями, а будь-яку довільну форму. Не було жодного випадку, щоб вся поверхня зразка набувала кольору дефекту зберігання. Загальна площа дефектів на зразку коливалася від 5 % до 40 % від величини поверхні зразка. Нерідко інтенсивність забарвлення в глибині була вища, ніж на поверхні.

Таблиця 3.10 – Якість зразків губчастого титану до та після корозійного випробування

Номер досліджу	Твердість HB,				Масова частка домішок, %		
	серія 1	серія 2	серія 3	середнє	кисень	азот	вуглець
1	87,9	90,0	88,2	88,7	0,063	0,047	0,019
2	102	101	99,5	101	0,080	0,014	0,010
3	116	114	116	115	0,085	0,034	0,028
4	106	106	103	105	0,074	0,013	0,018

3.6 Рекомендації щодо впровадження результатів досліджень

Умови зберігання титану губчастого впродовж багатьох років не змінювалися. Чіткого уявлення про вплив дефектів зберігання на якість титанових злитків, що виплавляються, не опрацьовано. Тому в даній роботі

вивчено умови утворення дефектів зберігання на зразках титану губчастого вищих марок (ТГ-90 і ТГ-100), вміст іона хлору в яких не перевищував 0,08 %.

На підставі проведених досліджень з'ясовано, що дефекти зберігання губчастого титану утворюються внаслідок вологої атмосферної корозії металу щільного типу за електрохімічним механізмом. Присутність залишкового іона хлору спричинює пітинговий початок корозійного руйнування з подальшим розвитком вогнищ корозії плямами. Корозія розвивається при нестачі пасиватора поверхні – кисню повітря в умовах замкнутого обмеженого об'єму і переважно в атмосфері аргону. Початком утворення дефектів є наявність вологи, що конденсується на поверхні і в порах губчастого титану та у присутності навіть незначної кількості вільних залишкових хлоридів утворює електропровідне середовище – електроліт.

Продуктами корозії є тонкі гідратовані плівки оксидів титану змінного складу.

При виконанні досліджень встановлено, що УФ-опромінювання багаторазово прискорює прояв зовнішніх ознак корозії губчастого титану.

Дробильне обладнання, що використовується в даний час для дроблення губчастого титану, є джерелом нагріву титанової губки до температур близько 70-80 °С, в окремих випадках до 108 °С, та отже й додатковим джерелом утворення дефектів зберігання. Дробильне обладнання не відповідає вимогам, що висуваються до дроблення губчастого титану.

Основними способами захисту титану губчастого від утворення дефектів зберігання є:

1. Зменшення вологості повітря шляхом осушення і кондиціонування приміщення для переробки титану губчастого.
2. Сушіння титану губчастого і тари, призначених для тривалого зберігання.
3. Зниження вмісту залишкових хлоридів в титані губчастому та у пилу в атмосфері приміщень для переробки титану губчастого.

4. Відмова від використання аргону як захисної атмосфери при зберіганні титану губчастого та замінення його осушеним повітрям.

Надано рекомендації щодо вдосконалення промислової технології консервації титану губчастого.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Вимоги до умов виробництва і технологічної чистоти приміщення щодо переробки блоків титану губчастого визначаються, в першу чергу, необхідністю випуску продукції, а також властивостями титану губчастого, що володіє високорозвиненою поверхнею, здатністю сорбувати вологу повітря, що призводить до погіршення його якості. Одночасно, низька відносна вологість повітря в виробничому приміщенні може призвести до значного накопичення статичної електрики в потоці рухомих частинок титанової губки і, таким чином, підвищити пожежну небезпеку виробництва.

Згідно з санітарними нормами відносна вологість повітря у виробничих приміщеннях повинна становити 40-60 % [46].

Шкідливими виробничими факторами на ділянці переробки блоків титану губчастого є: підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень вібрації; підвищена запиленість повітря робочої зони; тверді, легкозаймисті речовини; титан губчастий пожежо- і вибухонебезпечний з температурою самозаймання 560-1000 °С при крупності 0,053-1,700 мм; тепловипромінювання, верхня межа опромінення до 1,25 МДж/(м²·год).

Небезпечними виробничими факторами на ділянці переробки блоків титанової губки є електричний струм. Небезпеку електричних поразок людини створює різноманітне обладнання на ділянці переробки титанової губки: електричний привід, дробарки марки (ЩД-1 та КД-2), грохот марки (ГГС-42), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електричний внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, освітлювальні установки та ін.; порогове значення 0,1 А; механічні пошкодження при роботі з механічним обладнанням; теплові опіки; надлишок теплоти.

Таблиця 4.1 – Характеристика умов праці на робочому місці роздільник титану губчастого

№	Фактори виробничого середовища	Величина		III клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %	Примітка	
		нормативна	фактична	1 ступеня	2 ступеня	3 ступеня		Доплага	Дод. відсутка
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Титан	10	13,2	1,3	-		76,1	0,76	1
2	Вібрація	92	84	-	-	-	-	-	-
3	Шум	80	94		14			1,52	4
4	Температура в приміщенні, °С	18-27	36	-	-	9	76,1	2,28	4
5	Швидкість руху повітря, м/с	0,4-0,2	0,52	-	-	-	76,1	-	-
6	Відносна вологість повітря, %	40	41	-	-	-	76,1	-	-
7	Інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	170	-	-	-	20	0,4	-
8	Динамічна потужність зовнішньої роботи при роботі за участю м'язів нижніх кінцівок тулуба, Вт	7-63	2,59	-	-	-	-	-	-
9	Маса підймання і переміщення вантажу	до 10	8	-	-	-	-	-	-

4.2 Виробнича санітарія

Для збереження здоров'я працюючих велике значення має чистота повітря, відсутність у ньому шкідливих газів, парів і пилу, або їх наявність у дозах, нешкідливих для організму.

Мікроклімат виробничих приміщень характеризується температурою, вологістю повітря, швидкістю переміщення повітряних мас, а також тепловим випромінюванням від нагрітих обладнання, машин, предметів праці. Від комплексного впливу цих елементів залежать теплові відчуття і зумовлені ними фізіологічні та психічні стани працівників.

У зв'язку з тим, що ряд виробничих операцій – обрубка блоків, орієнтування кусків губки під ножем преса, ремонт пресів, дробарок тощо – являють собою важкі фізичні, роботи допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати вимогам, що висувають до робіт III категорії. Робітники, зайняті обробкою губчастого титану, повинні бути забезпечені побутовими приміщеннями, обладнані душовими згідно СНіП.

Мікроклімат ділянки для переробки титану губчастого зумовлюється технологічним процесом і певною мірою зовнішніми метеорологічними умовами. В цеху для переробки титанової губки, тепловиділення від обладнання, матеріалів, сонця становить 10 ккал на 1 м³ за годину. Як правило, основними при цьому є теплові випромінювання від нагрітих поверхонь обладнання і матеріалів.

Виконання роботи в умовах теплового випромінювання і високих температур викликає різко виражені фізіологічні зрушення в організмі працюючих. Їхня працездатність в таких умовах знижується на 50 %. Фізіологами встановлено, що температура 22 °С є тією межею, за якою починається прогресивне зниження працездатності. Так, при підвищенні температури до 26 °С вона зменшується на 4 % з кожним градусом, а при подальшому її підвищенні до 30 °С — на 6 %. А. В. Васильєвою виділені три температурних режими: від 0 до 25 °С; від 25 до 35 °С та від 35 до 50 °С [43].

Кожному режиму властивий певний характер зрушень фізіологічних функцій працівника. При першому режимі ці зрушення знаходяться в зоні допустимих показників; при другому відмічаються підвищені показники, а при третьому – парадоксальні реакції.

Виробничий шум, виробнича вібрація. Видавлення із реторти блоку, дробарки, розсівання на грохотах супроводжується інтенсивним шумом та вібрацією, які негативно впливають на працездатність і здоров'я працівників. Механічні коливання вузлів і деталей викликають коливання повітря і сприймаються органами слуху людини як звуки. Комплекс хаотичних звуків, різних за частотою та інтенсивністю, які викликають неприємні суб'єктивні відчуття, називається шумом.

Шуми різняться за гучністю (в фонах) і за висотою (менше як 350 Гц – низькочастотні; 350-800 Гц – середньочастотні; понад 800 Гц – високочастотні).

Людина сприймає звуки частотою 16-20000 Гц. Звуки з частотою до 16 Гц називаються інфразвуками, а понад 20000 Гц – ультразвуками. Хоча вони вухом не сприймаються, зате відчуються тканинами організму.

На виробництві шум може бути постійним і непостійним, коли рівень його під час роботи змінюється більше ніж на 5 дБ. Непостійні шуми поділяються на перервні, імпульсні та флюктуючі, коли рівень шуму весь час коливається [46-54].

Ступінь негативного впливу шуму залежить від сили і частоти звуку, тривалості його дії, фізичного і психічного стану людини.

Шкідливий вплив виробничого шуму виявляється як у вигляді специфічного ушкодження органів слуху, так і у вигляді порушень багатьох інших органів, в першу чергу центральної нервової системи. Інтенсивний виробничий шум призводить до часткової або повної втрати слуху. Зміни слуху настають при дії шуму більше 80 дБ і відбуваються протягом 3-5 років залежно від фізичного стану працівника. Ознаками розвитку приглухуватості є погане сприйняття розмови пошепки та шум у вухах.

Збільшення тривалості роботи в умовах підвищеного шуму супроводжується прогресивним розвитком втрати слуху. При цьому спочатку виникає слухова адаптація – зниження слухової чутливості і швидке відновлення слуху після припинення дії шуму. Згодом процес відновлення слуху затягується, а втома слухового аналізатора переходить у перевтому.

Тривалий (більше 10 років) вплив шуму вище 90 дБ на працівника може викликати не тільки приглухуватість, але й абсолютну втрату слуху внаслідок дегенерації чутливих клітин внутрішнього вуха в зв'язку з їх перенапруженням. Такі розлади слуху у працівників кваліфікуються як незворотні [49,50].

Під впливом шуму відбуваються зміни не тільки в слуховому центрі нервової системи, але і в тих відділах, які регулюють такі життєво важливі функції, як кровообіг, дихання, травлення, кровотворення, рухову діяльність та інші. Це зумовлено тим, що нервові імпульси від органів слуху посилюються ретикулярною формацією і поширюються по всьому мозку.

4.3 Заходи з поліпшення умов праці

Інженерні заходи для поліпшення умов праці є:

- належний стан вікон, ліхтарів, перекриттів будівлі, які перешкоджають попаданню атмосферної вологи всередину виробничих приміщень; автоматичне закриття воріт;

- душування осушеним теплим повітрям в'їзних воріт та вхідних дверей в холодний період року;

- систему кондиціонування повітря або подачу осушеного повітря в місця найбільших вантажопотоків ТГ (створення підвищеного барометричного тиску) [51];

- систематичний, цілодобовий контроль температури й вологості повітря.

Загальні положення з організації навчання працюючих щодо безпеки праці викладено в системі стандартів безпеки праці.

Організаційні заходи:

- навчання працюючих правилами безпеки праці;

- проведенням адміністрацією підприємства своєчасного і якісного інструктажу: вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий, поточний;

– масово-роз'яснювальна робота у вигляді лекцій, бесід, обговорення причин нещасних випадків, організації виставок, переглядів фільмів, реклами книг, брошур, публікацій статей у стінній печаті та ін.

При виконанні робіт необхідно застосовувати спецодяг: костюм чоловічий для захисту від підвищених температур НПАОП 270-3.01-08, взуття і засоби індивідуального захисту: каска, окуляри захисні, респіратори, віброзахисні рукавиці, навушники протишумні типу ВЦННІОТ-2М4А, вкладиші протишумові «беруши» [54].

Засоби індивідуального захисту. Специфічні вимоги до техніки безпеки на ділянці переробки губчастого титану визначаються, виходячи з потреби використання різноманітного обладнання під час багатостадійного пожежо-небезпечного виробництва, а також в умовах підвищеної запиленості - вибухо-небезпечного матеріалу.

Велика кількість технологічних операцій, які виконуються із застосування великого тиску відбійних молотків, наявність різноманітного обладнання з рухомими робочими органами, засобів механізації та різного виду транспортних вантажно-розвантажувальних машин і механізмів (мостові крани, електронавантажувачі, електрокари, вантажні автомобілі, електровізок з канатною тягою на рейках, кантователі, захвати і чалочні пристосування), компонування обладнання з розташуванням робочих місць на значній висоті від підлоги, обумовлюють можливість підвищеної травмонебезпечності. До чинників потенціальної травмонебезпечності слід також віднести власне губчатий титан в шматках і блоках, поверхня яких має безліч гострих виступів і ріжучих крайок [46-54].

У виробничих приміщеннях переробки губки виникають високий за рівнем (до 85 дБ) постійний шум і вібрації, що створюються відбійними молотками і потоком безперервно перевантажених вибухонебезпечних. Тому працівники мають при собі мати беруши, які захищають від шуму. Великі виділення шкідливих речовин в робочу атмосферу приміщень відбуваються при загорянні губчастого титану. До небезпечних факторів виробництва слід

віднести також використання при гасінні губки аргону, який в 1,4 рази важче повітря і тому може накопичуватися в контейнерах і приямках. Вдихання аргону може спричинити задуху і втрату свідомості людини. При цих факторів робітники мають носити противогаз.

Згідно з загальними вимогами безпеки діяльності виробниче устаткування ділянки переробки губки повинно забезпечувати безпечні умови праці на всіх технологічних операціях. Всі рухомі частини обладнання, які є джерелами небезпеки, повинні бути захищеними. На пресах і електровізках на рейковому ході, де рушійні частини не можуть бути огорожені з-за функціонального призначення, має бути передбачено засоби сигналізації, застережливі про пуску устаткування, а також кошти зупинки і відключення від джерел струму. Рухомі елементи конструкції обладнання повинні мати в крайніх положеннях упори і кінцеві вимикачі [53].

4.4 Розрахунок вентиляції для видалення залишкової теплоти

У числі заходів щодо оздоровлення умов праці у виробництві титану губчастого провідне місце належить вентиляції.

Розрахуємо кількість повітря, необхідного для асиміляції надлишків теплоти у цеху для переробки та сортування титану губчастого.

Розрахунок кількості повітря виконується за формолою [48,49]:

$$G = W_{\text{изб}} / 0,24 (t_{\text{врз}} - t_{\text{нрз}}) \quad (4.1)$$

де $W_{\text{изб}}$ – споживна швидкість надлишкового повітря, кДж/с;

$T_{\text{врз}}$ – температура яка відійшла від робочої зони, °С;

$T_{\text{нрз}}$ – температура яка надійшла в робочу зону, °С.

$$G = 220 / 0,24 (36,7 - 22) = 62 \text{ кг/с.}$$

Припустимо, що отвори 1 і 3 працюють на приплив (рис. 4.1), а отвори 2 і 2' працюють на витяжку. Причому отвір 1 і 2" знаходяться навітряної частині будівлі.

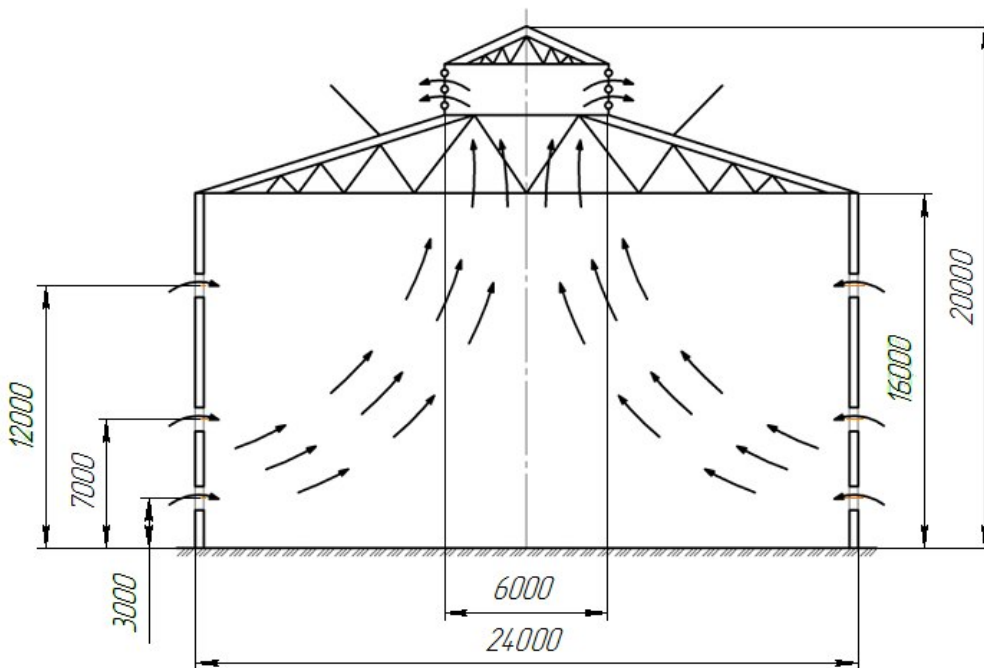


Рисунок 4.1 – Схема аерації цеху

Розподілимо повітрообмін між отворами 1 і 3 порівну.

$$G_3 = G_1; G_2' = G_2.$$

Кількість повітря, що поступає в цех, дорівнює кількості повітря, що видаляється з цеху.

$$G_1 + G_3 = G_2' + G_2 = 62 \text{ кг/с.}$$

Швидкісний напор вітру при $V_B = 4 \text{ м/с}$:

Визначаємо тиск системи кондиціонування повітря, за формулою :

$$P_{\text{ск.в.}} = \gamma \cdot V_2 / 2g, \quad (4.2)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

γ – об'ємна вага повітря, що дорівнює $1,197 \text{ кг/м}^3$.

Звідси маємо:

$$P_{\text{ск.в.}} = 1,197 \cdot 42 / 2 \cdot 9,81 = 1 \text{ кг/м}^2.$$

Визначимо загальний тиск в отворах, за формулою:

$$P_1 = K_1 \cdot P_{\text{ск.в}} \quad (4.3)$$

де K – аеродинамічний коефіцієнт.

З довідника визначаємо: $K_1 = 0,6$; $K_{12} = -0,5$; $K_2 = -0,45$; $K_3 = -0,3$.

Таким чином; отримуємо за формолою (4.3):

$$P_1 = 1 \cdot 0,6 = 0,6 \text{ кг/м}^2;$$

$$P_{12} = -0,5 \text{ кг/м}^2;$$

$$P_2 = -0,45 \text{ кг/м}^2;$$

$$P_3 = -0,3 \text{ кг/м}^2.$$

Звідси розрахуємо фіктивний тиск в отворі 2.

$$P_{2'ф} = P_2' - H(\gamma_{\text{врз}} - \gamma_{\text{ср}}); \quad (4.4)$$

де $\gamma_{\text{ср}} = 1,147$ – середня об'ємна вага повітря, яка знаходиться на ділянці;

$\gamma_{\text{врз}}$ – об'ємна вага повітря а яка відійшла від робочої зони.

$$P_{2'ф} = -0,5 - 15(1,197 - 1,147) = -1,25 \text{ Н};$$

$$t_{\text{ср.}} = (t_{\text{врз}} + t_{\text{р.з}}) / 2; \quad (4.5)$$

де $t_{\text{р.з}}$ – температура в робочій зоні.

$$t_{\text{ср.}} = (36,7 + 27) / 2 = 31,8;$$

$$P_{2'ф} = -0,45 - 0,75 = -1,2 \text{ Н}.$$

Внутрішній тиск, виходячи з умов, що стулки 3 завітрянної сторони працюють на приплив і що:

$$\alpha = G_2 / G_3 = 1;$$

$$\beta = F_2 / F_3 = 1;$$

$$P_x = (\alpha_2 P_3 + \beta_2 P_{2'ф}) / (\alpha_2 + \beta_2);$$

$$P_x = (1(-0,3) + 1(-1,2)) / 2 = -1,5/2 = -0,75 \text{ Н}.$$

Тиск в отворах:

$$P_1 - P_x = 0,6 - (-0,75) = 1,35 \text{ Н};$$

$$P_x - P_2'_{\varphi} = -0,75 - (-1,25) = 0,5\text{Н};$$

$$P_x - P_2_{\varphi} = -0,75 - (-1,2) = 0,45\text{Н};$$

$$P_3 - P_x = -0,3 - (-0,75) = 0,45 \text{ Н.}$$

Для спрощення обчислення підраховуємо:

$$\mu\sqrt{2g\gamma_1} = \mu\sqrt{2g\gamma_2}; \quad (4.6)$$

де μ – коефіцієнт витрати.

З довідника визначаємо, при куті відкривання стулки на 90° , $\mu = 0,64$.

Звідки:

$$0,64\sqrt{19,6} \cdot 1,2 = 3,1.$$

Площу отвору обчислимо площу отворів :

$$F = G_1 / \mu\sqrt{2g\gamma_1} \cdot \sqrt{P_1 - P_x}; \quad (4.6)$$

$$F_1 = 31 / 3,1\sqrt{1,35} = 8,6 \text{ м}^2;$$

$$F_2' = 31 / 3,1\sqrt{0,5} = 14,2 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = 31 / 3,1\sqrt{0,45} = 15,5 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = 31 / 3,1\sqrt{0,45} = 15,5 \text{ м}^2.$$

Знайдемо площі отворів при безвітрі.

Визначаємо тиск за формолою:

$$\Delta P_T = H(\gamma_{\text{нрз}} - \gamma_{\text{врз}}); \quad (4.7)$$

де $\gamma_{\text{нрз}}$ - об'ємна вага повітря а яка відійшла від робочої зони;

$\gamma_{\text{врз}}$ - об'ємна вага повітря а яка надійшла від робочої зони.

$$\Delta P_T = 15(1,197 - 1,147) = 0,75 \text{ Н.}$$

Беручи різницю тиску на рівні нижніх і верхніх отворів однаковою, маємо:

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_T / 2 = 0,75 / 2 = 0,375 \text{ Н.}$$

Вважаючи $G_1 = G_3$ і $G_{2'} = G_2$, знаходимо площі припливних і витяжних отворів:

$$F_1 = F_3 = G_1 / \mu \sqrt{2g\Delta P_1 \cdot \gamma_{\text{пр}}};$$

$$F_1 = F_3 = 31 / 0,64 \sqrt{19,6 \cdot 0,375 \cdot 1,197} = 16,3 \text{ м}^2;$$

$$F_{2'} = F_2 = G_2 / \mu \sqrt{2g\Delta P_2 \cdot \gamma_{\text{ух}}};$$

$$F_{2'} = F_2 = 31 / 0,64 \sqrt{19,6 \cdot 0,375 \cdot 1,147} = 15,5 \text{ м}^2.$$

Така площа отворів забезпечить необхідну кількість повітря для асиміляції надлишків тепла у цеху для переробці титану губчастого: схему аерації зображено на рис. 4.1.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Організація виконання науково-дослідної роботи

5.1.1 Планування етапів науково-дослідної роботи

Планування науково-дослідницької роботи включає визначення складу та послідовності виконання етапів і робіт по них, їх трудомісткості, тривалості і календарних строків виконання [56,57].

У проведенні дослідження щодо виявлення причин утворення дефектів на поверхні титанової губки під час її оброблення і зберігання можна виділити наступні етапи, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Етапи науково-дослідної роботи по дослідженню процесів дроблення та окислення титану губчастого для підвищення виходу товарного металу

Номер етапу	Етап науково-дослідної роботи	Зміст етапу
1	Літературний огляд і постановка задачі	1.1 Видача завдання. 1.2 Збір, вивчення, аналіз інформації по вітчизняним й закордонним джерелам. 1.3 Узгодження й твердження мети й завдання дослідження. 1.4 Виявлення можливих напрямків дослідження. 1.5 Затвердження програми дослідження. 1.6 Вибір состава виконавців.
2	Теоретичні дослідження	Розробка методики дослідження
3	Експериментальні дослідження	Проведення досліджень щодо виявлення причин утворення дефектів на поверхні титану губки під час її оброблення і зберігання
4	Узагальнення й оцінка результатів дослідження	4.1 Аналіз й обробка експериментальних даних 4.2 Виконання графічної частини
5	Завершальний	5.1 Приймання дослідницької роботи 5.2 Захист дослідницької роботи

5.1.2 Визначення трудомісткості виконання науково-дослідної роботи

Для визначення трудомісткості запланованих робіт найчастіше застосовується метод імовірних оцінок. Його суть полягає в тому, що безпосередній виконавець робіт оцінює максимальну $T_{\max i}$ і мінімальну $T_{\min i}$ трудомісткість роботи. На основі цих оцінок визначається очікувана трудомісткість $T_{\text{оч}i}$ (чол.·днів) робіт за формулою [56]:

$$T_{\text{оч}i} = \frac{3T_{\min i} + 2T_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

де $T_{\max i}$ – максимальна трудомісткість роботи;

$T_{\min i}$ – мінімальна трудомісткість роботи;

$T_{\text{оч}i}$ – очікувана трудомісткість.

Визначаємо трудомісткість першого етапу:

$$T_{\text{оч}1} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість другого етапу:

$$T_{\text{оч}2} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 7 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість третього етапу:

$$T_{\text{оч}3} = \frac{3 \cdot 230 + 2 \cdot 300}{5} = 258 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість четвертого етапу:

$$T_{\text{оч}4} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 10}{5} = 9 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість п'ятого етапу:

$$T_{оч5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5 \text{ чол. днів.}$$

5.1.3 Визначення числа виконавців науково-дослідної роботи

У таблиці 5.2 наведена кількість виконавців, необхідних для виконання науково-дослідної роботи.

Таблиця 5.2 – Кількість виконавців

Номер етапу	Виконавець	Кількість виконавців
1	Дослідник	1
2	Дослідник, провідний інженер	2
3	Дослідник, провідний інженер, старший науковий співробітник, лаборант-вимірник	4
4	Дослідник, провідний інженер	2
5	Дослідник	1

5.1.4 Розрахунок тривалості етапів науково-дослідної роботи

Тривалість етапів дослідження $t_{очi}$ розраховується за формулою:

$$t_{очi} = \frac{T_{очi}}{P_i \cdot K_{вн}}, \quad (5.2)$$

де $T_{очi}$ – очікувана трудомісткість виконання даної роботи, чол.-днів;

P_i – кількість виконавців, чол.;

$K_{вн}$ – коефіцієнт виконання норми, $K_{вн}=0,95$.

Тривалість 1 етапу:

$$t_{оч1} = \frac{8}{1 \cdot 0,95} = 8,42 \approx 8 \text{ дн.}$$

Тривалість 2 етапу:

$$t_{\text{оч}2} = \frac{7}{2 \cdot 0,95} = 3,68 \approx 4 \text{ дн.}$$

Тривалість 3 етапу:

$$t_{\text{оч}3} = \frac{258}{4 \cdot 0,95} = 67,89 \approx 68 \text{ дн.}$$

Тривалість 4 етапу:

$$t_{\text{оч}4} = \frac{9}{2 \cdot 0,95} = 4,74 \approx 5 \text{ дн.}$$

Тривалість 5 етапу:

$$t_{\text{оч}5} = \frac{5}{1 \cdot 0,95} = 5,26 \approx 5 \text{ дн.}$$

5.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи

При невеликій кількості робіт з етапів і виконавців, основним документом планування виконання науково-дослідної роботи є стрічковий графік. Відрізком горизонтальної прямої показується тривалість етапу роботи від першого до останнього дня роботи. За розрахованими даними будується стрічковий графік, що наведений у таблиці 5.3.

Загальна тривалість робіт склала 90 днів.

5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження

Кошторисну калькуляцію складають на весь обсяг робіт по темі. Для визначення витрат для проведення дослідження необхідно розрахувати:

- витрати на основні матеріали;
- витрати на заробітну плату;
- витрати на амортизацію використаного обладнання;
- витрати на електроенергію;
- накладні витрати.

5.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали

У дану статтю включаються всі витрати на придбання матеріалів, покупних виробів і напівфабрикатів, необхідних для безпосереднього виконання роботи з теми з урахуванням транспортно-заготівельних витрат.

Транспортно-заготівельні витрати $S_{ТЗ}$ становлять 2 % від суми основних матеріалів і розраховуються по формулі:

$$S_{ТЗ} = \frac{\sum S_M \cdot 2}{100}, \quad (5.3)$$

де S_M – витрати на основні матеріали, грн.

$$S_{ТЗ} = \frac{68312,21 \cdot 2}{100} = 1366,24,$$

де 68312,21 – сума витрат на основні матеріали, грн.

Витрати на основні матеріали при виконанні науково-дослідної роботи показано в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за кг, грн	Усього витрат, грн
Титанова губка	кг	100,0	679,10	67910,00
Соляна кислота	л	3,00	34,20	102,60
Аргон	м ³	0,14	27,20	3,81
Кальцинована сода	кг	0,50	9,60	4,80
Спирт етиловий	л	1,00	170,00	170,00
Технічна вода	кг	10,00	12,10	121,00
Транспортно-заготівельні витрати				1366424
Разом				69678,45

5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Витрати на амортизацію $S_{ам}$ використаного при дослідженнях обладнання визначаються за формулою:

$$S_{ам} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{ам i}}{100} \cdot K_i \cdot \frac{T_{др}}{T_p}, \quad (5.4)$$

де $\alpha_{ам i}$ – норма амортизаційних відрахувань для даного виду обладнання або приладу приймаємо 15 %;

K_i – вартість обладнання або приладу i -го виду, грн;

$T_{др}$ – тривалість використання даного i -го виду обладнання або приладу в дослідницькій роботі, години;

T_p – можливе число годин використання обладнання або приладів на протязі року.

При однозмінній роботі T_p приймається 2000 годин.

Розрахунок витрат на амортизацію обладнання й приладів наведений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на амортизацію обладнання

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Ціна за одиницю, грн.	Норма амортизації, %	Тривалість використання, год.	Витрати на амортизацію, грн.
Пірометр	1	465000	15	2	69,75
Дискозубчаста валкова дробарка	1	12000000	15	4	3600,00
Спектрометр	1	2000000	15	1	150,00
Електронний мікроскоп	1	870000	15	1	69,25
Амперметр	1	3650	15	1	0,27
Вольтметр	1	3820	15	1	0,29
Набір контейнерів	12	12000	15	2160	1944,00
Разом					5829,56

5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Вартість електроенергії S_e , витраченої на проведення дослідження, визначають за формулою:

$$S_e = \sum_{i=1}^N T_e \cdot N_{ci} \cdot T_{vi} \cdot m_i, \quad (5.5)$$

де T_e – тариф за кожен споживаний кВт/годину, грн;

N_{ci} – середня споживана потужність і-го виду обладнання, кВт;

T_{vi} – час використання і-го виду обладнання або приладу, година/цикл;

m_i – кількість обладнання і-го виду, примірників.

Тариф за 1 кВт електроенергії з урахуванням ПДВ становить 1,68 грн.

Розрахунок витрат на електроенергію наведений у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Потужність, кВт	Число годин використання, година	Тариф за 1кВт-год, грн.	Усього витрат, грн.
Пірометр	1	0,50	2	1,68	1,68
Дискозубчаста валкова дробарка	1	400,00	4	1,68	2688,00
Спектрометр	1	1,80	1	1,68	3,02
Електронний мікроскоп	1	0,75	1	1,68	1,26
Разом					2693,96

5.2.4 Розрахунок заробітної плати та відрахувань

У розрахунок заробітної плати входять наступні статті: основна заробітна плата наукових, інженерно-технічних і допоміжних працівників, зайнятих виконанням робіт з теми; додаткова заробітна плата, що включає виплати по оплаті чергових і додаткових відпусток, на виконання державних і суспільних доручень, винагороди.

Величина заробітної плати по темі може бути розрахована за формою представленою в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Величина заробітної плати

Виконавець	Кількість, чол.	Оклад, грн.	Тривалість, дні	Оплата праці, грн.
Провідний інженер	1	11700	111	61842,86
Лаборант	1	3700	43	7576,19
Старший науковий співробітник	1	14100	43	28871,43
Разом				28176,20

Заробітна плата виконавців $Z_{\text{очн}}$ розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_{\text{окл}}}{T_{\text{міс}}} \cdot T_{\text{ет}}, \quad (5.6)$$

де $Z_{\text{окл}}$ – посадовий оклад, грн;

$T_{\text{міс}}$ – кількість робочих днів у місяці, днів;

$T_{\text{ет}}$ – тривалість певного етапу, днів.

Заробітна плата інженера-консультанта $Z_{\text{осн}}^{\text{і-к}}$:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{і-к}} = \frac{11700}{21} \cdot 111 = 61842,86 \text{ грн.}$$

Заробітна плата лаборанта-технолога $Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}}$:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}} = \frac{3700}{21} \cdot 43 = 7576,19 \text{ грн.}$$

Заробітна плата старшого наукового співробітника $Z_{\text{осн}}^{\text{пл.}}$:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{14100}{21} \cdot 43 = 28871,43 \text{ грн.}$$

Премія $Z_{\text{пр}}$ становить 20 % від основної заробітної плати і розраховується за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = \frac{Z_{\text{осн}} \cdot 20}{100}. \quad (5.7)$$

Премія виконавців науково-дослідної роботи:

$$Z_{\text{пр}}^{\text{і-к}} = \frac{61842,86 \cdot 20}{100} = 12368,57 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{пр}}^{\text{л-т}} = \frac{7576,19 \cdot 20}{100} = 1515,24 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{пр}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{28871,43 \cdot 20}{100} = 5774,29 \text{ грн.}$$

Загальна заробітна плата виконавців розраховується за формулою:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{дод}}, \quad (5.8)$$

де $Z_{\text{дод}}$ – додаткова заробітна плата виконавців (10 % від $(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{пр}})$).

$$Z_{\text{заг}} = 98290,48 + 11794,86 = 110085,34 \text{ грн.}$$

Нарахування на фонд оплати праці $Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}}$ становить 37,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 37,5}{100}. \quad (5.9)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{110085,34 \cdot 37,5}{100} = 41282,00 \text{ грн.}$$

З них:

– у фонд державного соціального страхування $Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}}$ становить 2,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 2,5}{100}. \quad (5.10)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{110085,34 \cdot 2,5}{100} = 2752,13 \text{ грн.};$$

– у пенсійний фонд $Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}}$ становить 32 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 32,0}{100}. \quad (5.11)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{110085,34 \cdot 32,0}{100} = 35227,31 \text{ грн.};$$

– у фонд безробіття $Z_{\text{нар}}^{\text{ФБ}}$ становить 1,5 %:

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.12)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{110085,34 \cdot 1,5}{100} = 1651,28 \text{ грн.};$$

– у фонд соціального страхування від нещасного випадку $З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}}$ становить 1,5 %:

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.13)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{110085,34 \cdot 1,5}{100} = 1651,28 \text{ грн.}$$

5.2.5 Накладні витрати

Накладні витрати $H_{\text{в}}$ становлять 40 % від фонду оплати праці:

$$H_{\text{в}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 40}{100}. \quad (5.14)$$

$$H_{\text{в}} = \frac{110085,34 \cdot 40}{100} = 44034,14 \text{ грн.}$$

5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Кошторис витрат на науково-дослідну роботу визначається на весь обсяг виконаних робіт.

Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи наведено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Статті витрат	Усього витрат	
	грн.	%
1. Витрати на матеріали	69678,45	25,47
2. Основна заробітна плата	98290,48	35,92
3. Додаткова заробітна плата	11794,86	4,31
4. Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %):	41282,00	15,09
– на держ. соцстрах (2,5 %)	2752,13	1,01
– пенсійний фонд (32 %)	35227,31	12,88
– у фонд безробіття (1,5 %)	1651,28	0,60
– у фонд соц. страхування від нещасного випадку (1,5 %)	1651,28	0,60
5. Амортизаційні відрахування	5829,56	2,13
6. Витрати на електроенергію	2693,96	0,99
7. Накладні витрати	44034,14	16,09
Разом	273603,45	100,00

В результаті проведення науково-дослідної роботи в організаційній частині був побудований стрічковий календарний план. Загальна тривалість виконання науково-дослідної роботи склала 90 днів. В економічній частині розрахований зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 273603,45 грн.

ВИСНОВКИ

1. Металевий титан знайшов поширене використання в техніці, побуті як конструкційний матеріал, що володіє унікальними механічними і технологічними властивостями. Металевий титан отримують переплавленням у вакуумі титану губчастого. Тому якість металевого титану залежить від якості титану губчастого.

2. Наявність у титані губчастому залишкового іона хлору, у вигляді, в основному, гігроскопічного хлориду магнію, підвищує вірогідність поглинання вологи поверхнею титану губчастого, також приводить до утворення хлористого водню. Хлороводень, розчиняючись в конденсатній воді, може вступати у взаємодію з титаном. Вказані обставини створюють проблему, зумовлену утворенням так званих дефектів зберігання – появу на поверхні окремих кусків титану губчастого забарвлених плям сіро-жовтого, бурого або сіро-блакитного кольору з різними проміжними відтінками. Ці дефекти виникають після достатньо тривалого перебування титану в герметичній тарі.

3. Вдосконалення апаратурного оформлення і оптимізація режимів проведення технологічних процесів виробництва титану губчастого дозволять підвищити якість та знизити вміст домішкових елементів у його складі.

4. Експериментально виявлено значні розбіжності та встановлена відмінність дефектів зберігання і дефектів виробництва титанової губки.

5. Виникнення дефектів зберігання титану губчастого зумовлено атмосферною корозією щілинного типу, що протікає за електрохімічним механізмом і відповідає за характером руйнування корозії плямами з пітинговим початком через наявність залишкових хлоридів.

6. УФ-опромінювання багаторазово прискорює прояв зовнішніх ознак корозії титану губчастого.

7. Використане в даний час дробильне обладнання не відповідає вимогам, що висувають до дроблення титану губчастого, та є додатковим джерелом утворення дефектів зберігання.

8. Для запобігання утворенню дефектів зберігання титану губчастого та підвищення виходу товарного металу під час його тривалого зберігання запропоновано заходи щодо вдосконалення технології консервації титану губчастого:

- зменшення вологості повітря шляхом осушення і кондиціонування приміщення для переробки титану губчастого;

- сушіння титану губчастого і тари, призначених для тривалого зберігання;

- зниження вмісту залишкових хлоридів в титані губчастому та у пилу в атмосфері приміщень для переробки титану губчастого;

- відмова від використання аргону як захисної атмосфери при зберіганні титану губчастого і замінення його осушеним повітрям.

9. В економічній частині розрахований зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 273603,45 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Материалогія покритій титанових сплавів методами фізикохімії і електроіскрового легирования : [монографія] : в 2 т. / Тихоокеан. гос. ун-т. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. Т.1 : Покриття методами фізикохімії / под ред. В. М. Давыдова. 413 с.
2. Металлургія титана / В. А. Гармата и др. Москва : Metallurgia, 1968. 643 с.
3. Титан : свойства, сырьевая база, физико-химические основы и способы получения / В. А. Гармата и др. ; под ред. В. А. Гарматы. Москва : Metallurgia, 1983. 559 с.
4. Тарасов А. В. Металлургія титана : учеб. пособ. Москва : ИКЦ “Академкнига”, 2003. 328 с.
5. Мальшин В. М., Завадовская В. Н., Пампушко Н. А. Металлургія титана. Москва : Metallurgia, 1991. 360 с.
4. Металлургія титана / В. В. Сергеев и др. ; под общ. ред. В. В. Сергеева. Москва : Metallurgia, 1971. 320 с.
5. Зеликман А. Н., Коршунов Б. Г. Металлургія редких металлов : учебник. 2 изд., перераб. и доп. Москва : Metallurgia, 1991. 432 с.
6. Денисов С. И. Электротермия титановых шлаков. Москва : Metallurgia, 1970. 166 с.
7. Абковиц С., Бурке Дж., Хилц Р. Титан в промышленности ; перевод с англ. А. Тополева Москва : Оборонгиз, 1967. 145 с.
8. Николаев Г. И. Металл века. Москва : Metallurgia, 1987. 168 с.
9. Байбеков М. К., Попов В. Д., Чепрасов И. М. Производство четыреххлористого титана. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Metallurgia, 1987. 128 с.
10. Производство цветных металлов / В. Б. Кистяковский, и др. Москва : Metallurgia, 1984. 320 с.
11. Лебедев В. А., Рогожников Д. А. Металлургія титана. Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2015. 194 с.
12. Устинов В. С., Дрозденко В. А., Олесов Ю. Г. Электролитическое получение титана. Москва : Metallurgia, 1978. 176 с.

13. Червоний І. Ф., Листопад Д. А., Иващенко В. І., Воляр Р. Н. Обзор технологий производства титана. *Металургія* : зб. наук. пр. ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. Вип. 19. С. 24-28.
14. Тэлин В. В., Иващенко В.И., Червоний І.Ф. Анализ тенденций развития технологий, производства и потребления титана. *Титан-2005 в СНГ* : сб. тезисов докл. междунар. конф. Киев : ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, 2005. С.12-14.
15. Александров А. В. Развитие рынка титана в СНГ. *Титан–2009 в СНГ* : сб. тр. междунар. конф. (Украина, Одесса, 17–20 мая 2009 г.). Киев : ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, 2009. С.7–11.
16. Hart A., W. Perre. Prospects consumption of titanium. *Titanium* : Intern. conf. (San-Diego, USA, 3–6 Oct. 2006). Washington, 2006. P.109–112.
17. Формирование блока губчатого титана в промышленном реакторе. *Металлургия титана* : сб. науч. тр. ; под ред. Э. А. Арутюнова. Москва : Metallurgy, 1970. С. 59–77.
18. Червоний І. Ф., Иващенко В. І., Листопад Д. А. Загрязнение примесями губчатого титана из материала реторты. *Теория и практика металлургии*. 2007. №2-3(57-58). С. 40–47.
19. До питання про механізм утворення губчастого титану при відновленні чотирихлористого титану магнієм / Д. О. Листопад, та ін. *Вісті академії інженерних наук України* : науково-техн. та громадський часопис Президії АН України. Київ : ВДК Відкритого між нар. унів. розвитку людини «Україна», 2008. №2(36). С.25–34.
20. Лучинский, Г. П. Химия титана. Москва : Химия, 1971. 471 с.
21. Листопад Д. А. Усовершенствование магниетермического процесса получения титана губчатого с целью снижения поступления примесей. *Технологический аудит и резервы производства*. 2012. Т.3 №1(5). С.13 –14.
22. Бай А. С., Лайнер Д. И., Слесарева Е. Н., Цыпин М. И. Окисление титана и его сплавов. Москва : Metallurgy, 1970. 320 с.
23. Червоний І. Ф., Масленников А. Н., Листопад Д. А., Иващенко В. І. Распределение примесных элементов в поверхностных слоях блока губчатого титана. *Металургія* : зб. наук. пр. ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. Вип.18. С. 49–56.

24. Коррозия. Википедия Режим доступа :<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%8F>.
25. Коррозия титана и титановых сплавов. Режим доступа : http://www.titan-dioxide.ru/articles/art_4.php.
26. Аджеев С. А., Алекссенко А. В., Осиренко А. В. Распределение и классификация партий титана губчатого марки ТГ-ТВ производства ГП «ЗТМК» по химическому составу для определения продукции с улучшенными качественными характеристика. *Титан-2012 : виробництво і застосування* : зб. тез доп. III наук.-техн. конф. ; відп. ред. Ю. М. Внуков. Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. С.31–33.
27. Осипенко А. В., Дорда И. Ю., Тэлин В. В. Исследование возможности получения титана экономнолегированного элементами-примесями. *Титан-2012: виробництво і застосування* : зб. тез доп. III наук.-техн. конф. ; відп. ред. Ю. М. Внуков. Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. С.33–35.
28. Егорова И. Н., Червоний И. Ф. Особенности вакуумной сепарации титановой губки. *Титан-2012: виробництво і застосування* : зб. тез доп. III наук.-техн. конф. ; відп. ред. Ю. М. Внуков. Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. С.35–36.
29. ГОСТ 17746-96. Титан губчатый. Технические условия. Введ. 01.07.2000. Москва : Изд-во стандартов, 2000. Переизд. с изм. 8 с.
30. Исследование влияния параметров процесса восстановления на качество титана губчатого / А. В. Гойденко и др. *Титан – 2010 : производство и применение* : сб. тез. докл. II научно-техн. конф. молодых ученых и специалистов (Запорожье, 1–2 декабря 2010 г.) ; отв. ред. Ю. Н. Внуков. Запорожье : АА Тандем, 2010. С.60–61.
31. Влияние параметров процесса восстановления на выход и качество гарнисажного губчатого титана / А. П. Яценко и др. *Титан-2008 в СНГ* : сб. тр. междунар. конф. Киев : НАНУ ИМФ им. Г. В. Курдюмова, 2008. С.133–138.
32. Резниченко В. А., Гончаренко Т. В., Резниченко Е. А. Металлотермическое получение титана. *Технология металлов*. 2009. № 11. С. 2-7.
33. Лупинос С. М., Левин Ю. С., Шварцман Л. Я., Феофанов К. Л. Исследование фазового и элементного составов хлоридных включений и причин повышенного содержания остаточного хлора в титановой губке

- магнетермического производства. Титан-2007 в СНГ : сб. тр. междунар. конф. Киев : НАН Украины ИМФ им. Г. В. Курдюмова, 2007. С. 116–120.
34. Фолькіна О. М. Напрями підвищення якості титану губчастого і зниження вмісту домішкових елементів. *Актуальні питання сталого науковотехнічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : матеріали I Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених (Україна, Запоріжжя, 19-21 жовтня 2021 року). Запоріжжя : ЗНУ, 2021. С.235–236.
35. ГОСТ 5962-67. Спирт этиловый ректифицированный. Технические условия. Введ. 01.01.68. Москва : Изд-во стандартов, 1997. Переизд. с зим. Группа Н74. 6 с.
36. ГОСТ 5100-85. Сода кальцинированная техническая. Технические условия. Введ. 01.01.86. Москва : Изд-во стандартов, 1985. Переизд. с зим. 12 с.
37. ГОСТ 3118-77. Реактивы. Кислота соляная. Технические условия. Введ. 01.01.79. Москва : Изд-во стандартов, 2001. Переизд. с зим. 14 с.
38. СТП 140. Титан губчатый. Титановые сплавы. Метод определения кислорода и азота. Методика выполнения измерений. Введ. 01.04.2012. Запорожье : ЗТМК, 2012. 8 с.
40. ГОСТ 9853.1-96. Титан губчатый. Метод определения азота. Введ. 01.01.97. – Москва : Изд-во стандартов, 1996. Переизд. с изм. Группа Т44.
41. ГОСТ 9853.4-96. Титан губчатый. Методы определения хлора. Введ. 01.07.2000. Москва : Изд-во стандартов, 2000. Переизд. с зим. Группа Т44.
42. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Москва : Metallurgia, 1976. 472 с.
43. Коррозия конструкционных материалов : справ. изд. / В. В. Батраков, В. П. Батраков, Л. Н. Пивоварова, В. В. Соболев ; отв. ред. В. В. Батраков. Москва : Metallurgia, 1990. 344 с.
44. Томашов Н. Д. Пассивность и защита металлов от коррозии. Москва : Наука, 1965. С.82–88.
45. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов : учебник Москва : Metallurgia, 1978. С.126–132.
46. ДСН 3.36.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : Держстандарт, 1999. 8 с.

47. ДСН 2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінбуд. України, 2006. 10 с.
48. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / В. И. Полушкин и др. Санкт-Петербург: Профессия, 2002. 176 с.
49. ДСН 3.36.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : Держстандарт, 1999. 7 с.
50. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : Держстандарт, 1999. 11 с.
51. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці в металургійній промисловості. Київ : Держгірпромнагляд України, 2009. 27 с.
52. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ : Укр. НДПБ, 2007. 23 с.
53. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держгірпромнагляд України, 2001. 17 с.
54. НПАОП 0.00-4.01-08. Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Київ : Держгірпромнагляд України, 2008. 48 с.
55. Румянцев В. Р. Охорона праці та техногенна безпека: метод. вказівки до виконання розділу дипломних проектів (робіт) / В. Р. Румянцев и др. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 44 с.
56. Іващенко О. М. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.
57. Тюріна Н. М., Ведерніков М. Д., Капінос Г. І. Економіка промислового підприємства : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2008. 311 с.