

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень  
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Технологічні особливості зметирення  
металевих та металевих відходів

Виконав: студент 5 курсу, групи МЕТ-18-103

Кожок С.О.  
(ПІБ)

[Підпис]  
(підпис)

спеціальності

136 Металургія  
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія  
(шифр і назва)

Керівник Нестеренко Т.М. [Підпис]  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Вашер Р.М. [Підпис]  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2023 року

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

Кафедра Металургійних технологій, екології та безпечної безпеки  
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень  
перший (бакалаврський) рівень  
 Спеціальність 136 Металургія  
(шифр і назва)  
 Освітньо-професійна програма Металургія  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. БЕЛОКОНЬ  
 "29" "12" 2022 року






ЗАВДАННЯ  
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

- Кашок Олександр Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проекту (роботи) Технологічні особливості знежирення шкваркових титанових відходів.
- керівник роботи (проекту) Настеренко Тетяна Михайлівна, к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, академічне звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від "29" грудня 2022 року № 1894-с
2. Строк подання студентом роботи (проекту) 19.05.2023
3. Вихідні дані до роботи (проекту) Забруднена титанова стружка містить 6% мастила, 3% залізни приробки, 5% засміченість сторонніми предметами, 0,3% кисне, 0,5% Німгетилеві домішки
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Резерват. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Конструктивна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік джерел пошуків.

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

Креслення, презентаційний матеріал в слайдайна в 8 сторінок

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

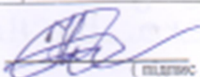
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Загальна частина	Нестеренко В.М. доцент	 19.05.2023
Технологічна частина	Нестеренко В.М. доцент	 19.05.2023
Конструкційна частина	Нестеренко В.М. доцент	 19.05.2023
Охорона праці та техно- логічна безпека	Нестеренко В.М. доцент	 19.05.2023
Нормокодекси	Блакоченко Ю.О. завідувач кафедри	 20.05.23

7. Дата видачі завдання 29.12.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	15.05-21.05.2023	Виконано
2	Резюме	15.05-21.05.2023	Виконано
3	Загальна частина	20.03-26.03.2023	Виконано
4	Технологічна частина	27.03-09.04.2023	Виконано
5	Конструкційна частина	10.04-16.04.2023	Виконано
6	Охорона праці та техно- логічна безпека	17.04-23.04.2023	Виконано
7	Висновки	01.05-07.05.2023	Виконано

Студент

  
(підпис)

Д.Д. Кашук  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

В.М. Нестеренко  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 63 с., 9 табл., 3 рис., 24 джерела.

АГІТАТОР, ВІДХОДИ, ЗАБРУДНЕННЯ, ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНА РІДИНА, ЗНЕЖИРЕННЯ, ТИТАНОВА СТРУЖКА, ЛУЖНИЙ РОЗЧИН.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Технологічні особливості знежирення металевих титанових відходів.

Мета роботи – вивчення технологічних особливостей та розробка технології знежирення титанової стружки для повернення її в колообіг титану.

У розділі «Загальна частина» надано характеристику титанової стружки і класифікацію титанових відходів, розглянуто напрями застосування та властивості титану і титанових сплавів, способи підготовки і утилізації титанової стружки на товарні титанові напівфабрикати і порошки, описано способи знежирення, технологічні особливості очищення титанової стружки від забруднення мастилом, емульсією, сторонніми предметами.

У розділі «Технологічна частина» розроблено технологічну схему знежирення титанової стружки, здійснено вибір апаратів для технологічної схеми виробництва, описано технологію знежирення стружки в лужних розчинах, складено розрахунки матеріального балансу по елементу титану і повного матеріального балансу процесу знежирення титанової стружки. Визначено витратні коефіцієнти для сировини і матеріалів.

У розділі «Конструкційна частина» описано конструкцію і принцип дії механічного агітатора, наведено розрахунки потужності двигуна приводу мішалки, складено розрахунок теплового балансу процесу знежирення стружки та нагріву агітатора паром крізь сорочку.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори процесу очищення та знежирення забрудненої титанової стружки. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Загальна частина.....	10
1.1 Властивості, використання титану та його сплавів.....	10
1.2 Джерела утворення та напрямки утилізації металевих титанових відходів титану і його сплавів.....	13
1.3 Класифікація та характеристика титанових відходів.....	15
1.4 Способи утилізації титанової стружки.....	19
1.4.1 Використання титанової стружки в чорній металургії.....	19
1.4.2 Виробництво лігатур для модифікації алюмінієвих сплавів.....	20
1.4.3 Виробництво діоксиду титану.....	20
1.4.4 Виробництво карбідів і силіцидів із титанової стружки.....	21
1.4.5 Переробка відходів на титановий шлак.....	21
1.4.6 Електролітичне рафінування титанових відходів.....	22
1.4.7 Термічне рафінування титанових відходів.....	23
1.4.8 Хлорування – відновлення титанових відходів.....	24
1.4.9 Виплавлення вторинних сплавів.....	24
1.4.10 Гідрування-дегідрування.....	24
1.4.11 Гідрометалургійна деоксидація титанової стружки.....	25
1.5 Технологічні особливості знежирення титанової стружки.....	26
1.5.1 Способи знежирення стружки кольорових металів.....	26
1.5.2 Технологічні особливості гідрохімічного способу знежирення титанової стружки.....	30
2 Технологічна частина.....	35
2.1 Технологічна схема гідрохімічного знежирення титанової стружки.....	35
2.2 Опис технології гідрохімічного знежирення титанової стружки.....	39
2.3 Розрахунок матеріального балансу процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки.....	40

	6
3 Конструкційна частина.....	47
3.1 Конструкція механічного агітатора.....	47
3.2 Розрахунок механічного агітатора.....	49
3.3 Розрахунок теплового балансу процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки.....	52
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	57
4.1 Шкідливі та небезпечні фактори під час гідрохімічного Знежирення титанової стружки.....	57
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища.....	57
Загальні висновки.....	60
Перелік джерел посилання.....	61

## ВСТУП

Титан широко розподілений у Земній корі, серед металів займає четверте місце після алюмінію, заліза, магнію [1-3]. Його застосовують як основу для отримання високоміцних сплавів з малою питомою вагою у ракетно- та літакобудуванні, енергетичному та хімічному машинобудуванні, суднобудуванні та медицині.

Україна є однією з п'яти країн світу, які мають повний цикл виробництва титану: від видобутку руд, що містять титан, їх збагачення і виробництва титану губчатого до виплавки злитків титанових сплавів і виробництва практично повного спектру титанових напівфабрикатів: виливків, поковок, прутків, труб і дроту.

У відходи потрапляє близько 70–75 % титану, що надходить у виробництво для отримання виробів [4]. Загальні ресурси металевих відходів титану і його сплавів складаються з відходів, що утворюються при виробництві губчастого титану, злитків, напівфабрикатів і виробів, а також амортизаційного брухту. Від загальної кількості відходів, що утворюються, частка кускових відходів складає 25 %, листових – 20–30 % і стружки 45–55 % [3]. Обробка титанових сплавів ВТ1-0, ВТ3-1, ВТ6 і ВТ8 зі швидкістю різання не більше 15–20 м/хв супроводжується утворенням зливної стружки [10]. При різанні з більшою швидкістю зливна стружка переходить в елементну. Змінення режимів різання супроводжується утворенням титанової стружки з різними кольорами мінливості.

Оптимальні умови збирання та використання титанових відходів в даний час ще не досягнуто. Титанова стружка, що утворюється на металообробних, металургійних і машинобудівних підприємствах, є найбільш забрудненим видом металевих титанових відходів та не придатним для рециркулювання титану.

Залежно від розмірів напівфабрикатів і виду обробки титанова стружка утворюється різних розмірів: товщиною від 0,05 мм до 4,00 мм і довжиною

окремого витка від декількох міліметрів до 1 м і більше [5]. Більшість операцій механічної обробки здійснюють з охолодженням зони різання змащувальними і охолоджуючими рідинами (ЗОР) різних складів. Кількість мастила та вологи на поверхні стружки залежить від її товщини.

Для видалення вологи, мастила, залишків ЗОР з поверхні стружки кольорових і чорних металів відомі наступні способи очищення: термічний, механічний і гідрохімічний. Для знежирення титанової стружки термічний спосіб на практиці не отримав застосування через окислення і можливе загоряння стружки. Проте дослідження і вдосконалення цього способу продовжуються [2]. Вакуумне знежирення [3] економічно виправдане для глибокого очищення титанової стружки при її підшихтуванні для виплавки злитків титану та його сплавів. Механічний спосіб, заснований на видаленні мастил і емульсій за допомогою відцентрових сил, випробувано для алюмінієвої і мідної стружки при вмісті ЗОР на поверхні матеріалу не менше 6 %. Залишковий вміст рідини після обробки стружки в спеціальних центрифугах не забезпечує без додаткового сушіння можливість використання стружки в металургійному виробництві. Очищення від поверхневих забруднень в рідких середовищах за допомогою ультразвукових коливань забезпечує високу якість знежирення стружки. Проте через складність устаткування і шкідливий вплив ультразвука на обслуговуючий персонал метод не знайшов промислового застосування.

Гідрохімічний (реагентний) спосіб полягає у відмиванні мастил з поверхні стружки миючими розчинами. У крупнолабораторному масштабі досліджено струменевий і барботажний варіанти даного способу очищення титанової стружки в лужних розчинах. Як компоненти розчину, що використовуються для гідрохімічного очищення титанової стружки, зазвичай рекомендуються каустична і кальцинована сода, силікат натрію, натрієві солі ортофосфорної і пірофосфорної кислот, а також поверхнево-активні речовини.



Вибір технологічної схеми переробки титанових відходів залежить від багатьох факторів. Перш за все, виходять з оцінки фізико-хімічних властивостей сполук і ступеня складності апаратурного оформлення. Для залучення в колообіг титану забруднена титанова стружка повинна бути очищена від залишків змащувально-охолоджувальної рідини, емульсії, сторонніх предметів. Тому знежирення забрудненої титанової стружки є актуальним завданням. Вирішення цього завдання сприяє зниженню вартості і розширенню сфер споживання виробів з титану та титанових сплавів.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є вивчення особливостей та розробка технології знежирення забрудненої титанової стружки для повернення її в колообіг титану.

Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра роботи:

1. Проаналізувати джерела утворення титанових відходів.
2. Вивчити класифікацію титанових відходів. Вивчити характеристику та вимоги до стружки титану і титанових сплавів.
3. Проаналізувати способи переробки титанової стружки для отримання товарного продукту.
4. Вивчити способи знежирення, їх особливості та розробити технологію знежирення титанової стружки для повернення її в колообіг титану.
5. Вибрати і розрахувати реактор для знежирення забрудненої титанової стружки. Описати конструкцію реактора.
6. Розрахувати матеріальний баланс процесу знежирення забрудненої титанової стружки.
7. Розрахувати тепловий баланс процесу знежирення титанової стружки.
8. Виявити шкідливі і небезпечні виробничі фактори процесу очищення та знежирення забрудненої титанової стружки. Розробити заходи щодо поліпшення умов праці.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Властивості, використання титану та його сплавів

Титан є металом світло-сірого кольору. Він широко розподілений в Земній корі, масова частка в ній становить 0,63 %, серед металів займає четверте місце після алюмінію, заліза, магнію [1-3].

Температура плавлення титану ( $1668 \pm 5$  °С залежно від ступеня його чистоти) майже в 3 рази вища, ніж у Al і Mg, і на 120–150 °С вища за температури плавлення Fe і сталей. Температура кипіння становить 3177 °С. За питомою вагою і модулем пружності титан займає проміжне положення між Al і Fe, тому його застосовують як основу для отримання високоміцних сплавів з малою питомою вагою. Фізико-механічні властивості титану надано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості титану [1-3]

Властивість	Кількість
Атомна маса	47,9
Щільність при 25 °С, кг/м <sup>3</sup>	4505
Щільність $\alpha$ -титану при 870 °С, кг/м <sup>3</sup>	4350
Температура плавлення, °С	1668 $\pm$ 5
Температура кипіння, °С	3177
Питома теплота плавлення, кДж/кг	358
Питома теплоємність при 20 °С, кДж/(кг·К)	0,54
Коефіцієнт теплопередачі при 20 °С, Вт/(м·К)	18,85
Питомий електричний опір, Ом·м	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Відносне подовження, %	20–35

Титан має дві поліморфні модифікації: альфа ( $\alpha$ ) і бета ( $\beta$ ). Температура поліморфного перетворення  $\alpha$ -Ti  $\rightarrow$   $\beta$ -Ti становить 882,5 °С.

Титан володіє високими механічними характеристиками. Механічні властивості титану істотно залежать від чистоти металу (від наявності домішок). Розрізняють домішки впровадження (кисень, азот, вуглець, водень) і домішки заміщення, до яких відносяться залізо і кремній. Хоча домішки підвищують міцність, але водночас вони різко знижують пластичність, причому найбільш сильний негативний вплив надають домішки впровадження, особливо газу. При введенні всього лише 0,03 % Н; 0,2 % N або 0,7 % O<sub>2</sub> титан повністю втрачає здатність до пластичної деформації і крихко руйнується [1,3].

Титан є хімічно активним металом, легко вступає в реакції з газами атмосфери (киснем і азотом). З підвищенням температури його реакційна здатність підвищується. Титан виявляє схильність до утворення комплексних сполук, в яких зв'язок між титаном і вуглецем здійснюється в основному через атоми кисню та інших елементів.

Титан відноситься до числа хімічно активних металів, проте він має високу корозійну стійкість, так як на його поверхні утворюється стійка пасивна плівка TiO<sub>2</sub>, міцно пов'язана з основним металом і виключає його безпосередній контакт з корозійною середовищем. Товщина цієї плівки зазвичай досягає 5–6 нм. Завдяки оксидній плівці титан і його сплави кородують в атмосфері, в прісній і морській воді, стійкі проти корозії кавітації і корозії під напругою, а також в кислотах органічного походження. У відновлювальних середовищах він досить швидко кородує через руйнування захисної оксидної плівки.

Технічно чистий титан марки ВТ1-1 містить не більше, %: 0,30 Fe; 0,12 Si; 0,08 C; 0,15 O; 0,05 N; 0,012 H. По міцності і пластичності ВТ1-1 не поступається ряду вуглецевих і Cr-Ni- корозійностійких сталей:  $\sigma_b = 450\text{--}600$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 380\text{--}500$  МПа;  $\delta > 25$  %;  $\psi \geq 50$  % [2]. При зниженні температури від кімнатної до криогенних властивості міцності зростають при збереженні високого рівня пластичності.

Титан володіє виключно високим опором корозії, що перевищує корозійну стійкість нержавіючих сталей, що обумовлено утворенням на його поверхні щільної оксидної плівки. Він активно реагує з чотирма неорганічними кислотами: плавиковою, соляною, сульфатною і ортофосфорною. Титан стійкий в розведеній сульфатній кислоті, оцтовій і молочній кислотами, сірководні, у вологій хлорній атмосфері, царській горілці і багатьох інших агресивних середовищах. Розбавлена і концентрована азотна кислота (за винятком такої, що димить) також не діють на титан. Титан і його сплави стійкі у всіх природних умовах: атмосфері, ґрунті, прісній і морській воді, навіть в умовах жаркого клімату.

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

Нелегований титан має недоліки, що обмежують застосування його в чистому вигляді. До вказаних недоліків відносяться порівняно невисока міцність і досить швидке розупорядкування 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.

Титанові сплави поділяють за способом виготовлення на сплави, що деформуються, ливарні і порошкові (гранильні); за механічними властивостями – на сплави низької міцності і підвищеної пластичності, середньої міцності і високоміцні; за призначенням – на конструкційні і жароміцні, криогенні, корозійностійкі, функціональні.

За структурою титанові сплави класифікують на однофазні  $\alpha$ - і  $\beta$ -сплави, псевдофазні і двофазні ( $\alpha+\beta$ )-сплави.

Титан і його сплави сумісні з багатьма органічними речовинами. Вони стійкі до сонячної радіації, не вимагають спеціального захисту (фарбами, лаками) від впливу природних умов. Крім того, на поверхні титану можна створювати різні кольорові гами, зокрема, шляхом регульованого азотування, оксидування, іонно-плазмової обробки [5].

Введення легуючих елементів (Al, Mo, V, Mn, Cr, Fe і ін.) в певних поєднаннях і кількостях, а також цілеспрямований термічний вплив дозволяють змінювати властивості сплавів в широких межах.

Розрізняють домішки впровадження (кисень, азот, вуглець, водень і домішки заміщення, до яких відносяться залізо і кремній. Домішки (кисень, азот, вуглець, водень, залізо, кремній та ін.) підвищують міцність, але одночасно різко знижують пластичність, причому найбільш сильне негативно дію надають домішки впровадження, особливо газу. Особливо шкідливий водень, що викликає водневу крихкість титанових сплавів. Водень потрапляє в метал при плавці і подальшій обробці, зокрема при травленні напівфабрикатів. Водень малорастворим в  $\alpha$ -титані і утворює пластинчасті частинки гідриду, що знижує ударну в'язкість, що особливо негативно проявляється при випробуваннях на уповільнене руйнування [6,7].

## **1.2 Джерела утворення та напрямки утилізації металевих титанових відходів**

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.

Існуючі технології виготовлення титанових виробів характеризуються дуже низьким коефіцієнтом використання металу: вихід придатного

коливається від 7,5 % при виробництві дрібних деталей до 1–25 % при виробництві крупних. Вихід титану в готовий виріб становить близько 25 %. Це зумовлено утворенням великої кількості відходів: при виробництві 1 т готових виробів утворюється до 3 т відходів. Низький вихід придатного при виготовленні виробів з титанових сплавів зумовлений сферами їх застосування в тих галузях машинобудування, де основною вимогою є мінімальна маса продукції.

Загальні ресурси металевих відходів титану і його сплавів складаються з відходів, що утворюються при виробництві губчастого титану, злитків, напівфабрикатів і виробів, а також амортизаційного брухту. Середній баланс утворення відходів, що переробляються титановою промисловістю показує, що з 100 % шихти, що надходить, у виробництво утворюється близько 75–80 % відходів, які треба утилізувати. Якщо цю кількість відходів прийняти за 100 %, тоді при виробництві злитків утворюється 20–22 % відходів за переробкою [6-8]. Від загальної кількості відходів, що утворюються, частка кускових відходів складає 25 %, листових – 20–30 % і стружки 45–55 %.

Титанові відходи утилізувалися по двох напрямках. Кондиційні титанові відходи у вигляді чистої неокисленої стружки, обрізків та інших видів дрібного скрапу шихтуються разом з губчастим титаном для виплавки злитків. Некондиційні титанові відходи у вигляді окисленої або змішаної за марками сплавів стружки та обрізки, основна маса ливарних сплавів використовуються у виробництві феротитану, для розкислювання і легування сталі та в деяких інших сферах застосування титану, що вилучають титан з сфери його обернення. Частина некондиційних відходів переводиться в кондиційні відходи спеціальною обробкою.

Під час переробки від злитка до готового виробу титан зазнає десятки різних операцій, частина з яких (кування, штампування, пресування та ін.) здійснюються за температур 700–1200 °С. На всіх операціях неминуче утворюються відходи у вигляді стружки, висікання, обрізки та ін. Вихід виробів по відношенню до шихти, що запущена у виробництво, складає: 27 %

для деталей, виготовлених з листа; 24 % – з труб, 18 % – з поковок, 5–10 % безповоротні втрати.

Таким чином, близько 75–80 % металу, що потрапляє на виплавку злитків, перетворюється у відходи і підлягає регенерації.

### **1.3 Класифікація та характеристика титанових відходів**

За стандартом ДСТУ 3211–95 (ГОСТ 1639–93) відходи титану і титанових сплавів класифікуються на чотири основні класи [5]:

- а) клас А – брухт і кускові відходи титану і титанових сплавів;
- б) клас Б – стружка титану і титанових сплавів;
- в) клас З – листовий обріз титану і титанових сплавів;
- г) клас Г – шлаки та інші відходи титану і титанових сплавів.

Класи А, Б, З за хімічним складом поділяють на три групи:

I – титан чистий (нелегований);

II – сплави титану, леговані компонентами, окрім олова;

III – сплави титану, леговані оловом.

Відходи I групи можна використовувати під час виплавлення будь-якого титанового сплаву, відходи II і III груп – для тих сплавів, які відповідають марці сплаву відходів. Виділення в окрему групу сплавів, легованих оловом, зумовлено застосуванням титанових відходів в чорній металургії, де олово є шкідливою домішкою на відміну від інших легуючих елементів, що містяться в титанових сплавах.

За показниками якості кожену групу поділяють на сорти (наприклад, для класів А і З на чотири сорти, для класу Б на 3 сорти):

1-й сорт – неокислені відходи, які можна вводити в шихту для виплавки злитків первинних титанових сплавів без будь-якої підготовки.

2-й сорт – відходи, які після відповідної підготовки також можна використовувати в шихті;

3-й сорт і 2-й сорт титанової стружки для переплавлення на кондиційний метал не придатні і не застосовуються.

У брукті та кускових відходах сортів 1, 1а, 2 не допускаються мастила, емульсії, сторонні предмети, технологічні змазки, відходи чорних і кольорових металів, нетитанові приробки. Прес-залишки від пресування, одержані під час виготовлення напівфабрикатів із заготовок, нагрітих у хлорбарієвих ваннах, або із застосуванням змазок, збирають і заготовляють за згодою із споживачами [6].

Характеристика та вимоги до стружки титану і титанових сплавів за ДСТУ 3211-95 приведено в таблиці 1.2.

Головна відмінність титану і його сплавів від відходів інших металів і сплавів полягає в тому, що вони в процесі утворення активно і технологічно безповоротно забруднюються газовими домішками, по-перше киснем і азотом. Крім того, титанові відходи дуже часто забруднено іншими металами і неметалами, а відходи різних марок титанових сплавів, як правило, перемішані між собою. Тому в основу якісної класифікації титанових відходів покладено принцип можливості або неможливості використання їх у шихті для виплавлення злитків первинних титанових сплавів. Такий поділ відходів титану та його сплавів щодо можливості використання відходів у шихті для виплавлення сплавів є умовним. За цією ознакою всі титанові відходи поділяють на кондиційні і некондиційні.

Кондиційні відходи після відповідної підготовки можна використовувати для підшихтовки в плавку для отримання титанових злитків. До них відносять відходи, що не змішані за марками сплавів і не мають на поверхні окисленого шару у вигляді кольорового забарвлення.



Таблиця 1.2 – Характеристика та вимоги до стружки титану і титанових сплавів [6]

Сорт	Характеристика	Вимоги	Норма
1	Стружка сипка, не засмічена іншими металами і сплавами	Однієї марки сплаву, без кольорів мінливості	
		Довжина витка, мм	20–70
		Стружка не повинна бути забруднена маслом, емульсією, сторонніми предметами, уламками різців, які не мають магнітних властивостей, не повинна бути гофрованою, волосоподібною, рулоноподібною	
		Насипна маса, т/м <sup>3</sup> , не менше	0,25
1а	Стружка сипка, засмічена іншими металами і сплавами	Однієї марки сплаву, без кольорів мінливості	
		Довжина витка, мм	20–70
		Стружка не повинна бути забруднена маслом, емульсією, сторонніми предметами, уламками різців, які не мають магнітних властивостей, не повинна бути гофрованою, волосоподібною, рулоноподібною	
		Насипна маса, т/м <sup>3</sup> , не менше	0,15–0,25
2	Стружка, не засмічена іншими металами і сплавами, яка не відповідає вимогам 1-, 1а-го сортів	Подрібнена	
		Однієї групи сплавів	
		Допускаються помітні кольори мінливості	
		Стружка не повинна бути засмічена сторонніми предметами, відходами чорних і кольорових металів	
3	Стружка, відсів, які утворилися від переробки стружки при доведенні її якості і розмірів до технічних вимог і норм, що пред'являються до відходів 1-, 1а-го сортів, і які не відповідають вимогам 1-, 1а-, 2-го сортів	Допускаються кольори мінливості, сліди емульсії	

Некондиційні відходи – відходи, що є змішаними за марками сплавів, а також відходи, що є окисленими по усьому перерізу або більшій його частині: кускові з глибокими розшаруваннями і тріщинами. З таких відходів поверхневою обробкою неможливо видалити поверхневі оксиди, також через складну конфігурацію такі відходи складно подрібнювати до потрібних розмірів.

Із загальної кількості титанового брухту і відходів, стружки, що утворюється, потрапляє в некондиційні відходи:

- окислена і дуже дрібна стружка (відсівання);
- відходи, що утворюються у виробництві титану губчастого, тобто низькосортний губчастий титан марки ТГ-Тв, бій електродів та інші низькоякісні титанові відходи.

При існуючих методах підготовки титанових відходів до плавлення некондиційні відходи не можна переплавити на метал, що відповідає вимогам, які висувають до серійних титанових сплавів.

Співвідношення об'ємів кондиційних і некондиційних відходів, що утворюються, становить 2 : 1.

До кондиційних титанових відходів належать [6]:

- сорти 1, 1а, 2 і 3 для відходів класу А;
- сорти 1, 1а для відходів класу Б;
- сорти 1, 2, 2а, 2б, 3 для відходів класу З.

У листовому титановому обрізі, висічці, ґратах плитах не допускаються мастило, емульсія, сторонні предмети, відходи чорних і кольорових металів.

У титанових відходах класу Г допускається наявність окремих відходів інших класів [7]. До титанових шлаків та інших відходів титану і титанових сплавів (клас Г) 3-го сорту належать шлаки від вогневого оброблення продукції виробництва і споживання, також відходи, одержані від плавки, різки, зачистки напівфабрикатів із титанових сплавів, окалина, «корони» ливарного виробництва, відсіви стружки титану і титанових сплавів, у яких

засміченість становить не більше 30 %, а масова частка титану – не менше 50 % [8].

## **1.4 Способи утилізації титанової стружки**

### **1.4.1 Використання титанової стружки в чорній металургії**

У чорній металургії відходи титанових сплавів використовуються для виробництва стандартного і високопроцентного феротитану, а також для легування, розкислювання і модифікування сталей. Втрати титану при такому використанні складають 40–45 %, а при легуванні сталей титановою стружкою, яку як присадку додають в ківш, втрати досягають 65 % [10-12].

Феротитан використовують як титанвмісну лігатуру у виробництві нержавіючих і жароміцних сталей, а також при виготовленні електрозварювальних електродів.

Стандартний феротитан отримують зазвичай алюмотермічним відновленням ільменітового концентрату, що містить оксиди заліза і титану. З використанням титанових відходів стандартний феротитан виробляють двома способами: алюмотермічним відновленням і електропічним способом. Обидва ці способи дозволяють використовувати в складі шихти відходи титанових сплавів: стружку в брикетованому вигляді і кускові і листові відходи – в подрібненому вигляді.

При алюмотермічному способі отримання стандартного феротитану витягання титану з відходів в феротитан становить 85–90 % для кускових відходів і до 40 % – для стружки. При електропічному способі виробництва такого феротитану відходи титанових сплавів змішують з іншими компонентами шихти (ільменітовим концентратом, алюмінієм, залізною рудою і вапном) і також, як і в алюмотермічному способі, розчиняють в феротитані в протягом плавлення. Витрата титанового брухту і відходів при

використанні першого способу складає не вище 180 кг на 1 т феротитану, а при використанні другого доходить до 200 кг [6,7].

Високопроцентний феротитан виготовляють шляхом сплавлення брухту низько- і середньовуглецевих сталей з відходами титанових сплавів в індукційних печах. Так, для отримання стандартного і високопроцентного феротитану можна використовувати застарілу титанову стружку після спеціальної підготовки до переробки. Очищення стружки, схема якого надана в роботі [12], дозволила повністю видалити з неї сторонні домішки, а масову частку Вуглецю знизити до 0,06–0,12 %. Засвоєння розробленого процесу дозволило використовувати як титанвмісний компонент шихти 100 % стружки при виробництві 25–50 %-го феротитану позапічним способом і 40–70 % стружки в складі шихти при виплавці 65–75 % -го феротитану в індукційній печі ІЛТ-1/04-М2.

#### **1.4.2 Виробництво лігатур для модифікації алюмінієвих сплавів**

В алюмінієвій промисловості титан застосовується як елемент, що підвищує твердість модифікатора, що подрібнює зерно. Титан у вигляді подрібненої стружки використовують для отримання лігатури, що містить 5–10 % титану, яку застосовують у виробництві первинного алюмінію. Кінцева продукція містить 0,005–0,01 % титану [13,14].

#### **1.4.3 Виробництво діоксиду титану**

Для дослідно-промислового випробування технології вибілювання гідратованого діоксиду титану була розроблена, виготовлена і випробувана установка отримання сульфату титану. В результаті проведених досліджень було встановлено, що використання в реакторі вибілювання сульфату титану, отриманого шляхом розчинення титанової стружки в сульфатній кислоті, дозволить виключити застосування алюмінієвого порошку і зменшити

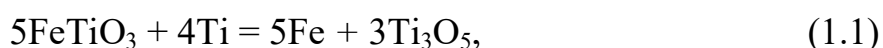
витрату сульфатної кислоти на 250–300 кг на 1 т діоксиду титану. Якість діоксиду титану, отриманого таким способом, не змінюється порівнянно з традиційною технологією.

#### **1.4.4 Виробництво карбідів і силіцидів із титанової стружки**

Дослідження процесів отримання карбіду титану з титанової стружки проводилися на початку 2000-х років. Стружку титанового сплаву ВТ1 завтовшки 0,2 мм відмивали від змащувально-охолоджувальної рідини. Після відмивання стружку змішують з сажею у співвідношенні, що розраховано на отримання стехіометричного карбіду титану  $TiC$ . Для видалення легко летких компонентів, сажу заздалегідь відпалюють на повітрі за температури  $500\text{ }^{\circ}C$  впродовж 4 годин. Карбідізацію проводять в графітових тиглях у вакуумній печі з графітовими нагрівачами. Температурний інтервал карбідізації  $1600\text{--}2500\text{ }^{\circ}C$  [14]. Після карбідізації отриманий спек подрібнюють протягом 30 хвилин у вібраційному млині. Масова частка кисню в отриманих порошках карбіду титану менша, ніж в порошок, що випускається вітчизняною промисловістю.

#### **1.4.5 Переробка відходів на титановий шлак**

Під час переробки на титановий шлак титанові відходи використовують як частину шихти. При виплавці шлаку в руднотермічних печах відходи вводять у піч в кількості 80–100 кг на 1 т ільменітового концентрату після розплавлення концентрату в період доведення шлаку [10]:



Відходи металевого титану частково відновлюють оксид заліза з концентрату по реакції (1.1), підвищують вихід шлаку і масову частку діоксиду титану в ньому. Крім того, залучення відходів в руднотермічну

плавку знижує витрату електроенергії і основного відновника – антрациту, що застосовується у відновному плавленні ільменітового концентрату. Крім того, підвищується коефіцієнт використання об'єму печі, скорочується кількість відхідних з печі газів а, отже, знижується пилеунесення і втрати шлаку з газами, що відходять [10,12].

Основна перевага цього способу використання титанових відходів полягає в тому, що до відходів висувають мінімальні вимоги: можна переробляти подрібнені некондиційні (несортні) відходи у вигляді дрібних шматків, обрізків, стружки різних сплавів, змішаних між собою і забруднених до 3–5 % сторонніми домішками (мастилом, емульсіями, пилом, відходами чорних металів). У руднотермічну піч можна завантажувати відходи титанових сплавів всіх марок, за винятком сплавів, що містять станум. Серед легуючих елементів, що містяться у відходах титанових сплавів, тільки станум може шкідливо впливати на якість губчастого титану, отриманого з використанням таких шлаків.

Для отримання титанового шлаку з дрібної стружки від обдирання титанових злитків стружку дроблять, просівають, пресують зі сполучною речовиною (бентоніт, гідролізний крохмаль, цукор та ін.) в брикети, сушать і плавлять в електропечі в безкисневій атмосфері (азоті, аргоні, гелії) [15]. Сполучна речовина не повинна містити більше 0,1 % лужних або лужноземельних металів, оскільки при подальшому хлоруванні отриманих титанових шлаків вони утворюють в'язку фазу, що утрудняє роботу хлоратора киплячого шару.

#### **1.4.6 Електролітичне рафінування титанових відходів**

Дослідження встановили, що при електролітичному рафінуванні відходів сплавів титану у вигляді стружки в електроліті, основою якого є еквімолярний розплав солей  $KCl-NaCl$ , що містить 2–5 % іонів титану, при 750–850 °С, анодній щільності струму від 0,1 А/см<sup>2</sup> до 0,3 А/см<sup>2</sup>, катодній

щільності струму  $0,2-0,6 \text{ A/cm}^2$  досягається практично повне очищення катодного металу від шкідливих домішок – заліза, силіцію, кисню, вуглецю, азоту та інших до рівнів, не гірше ніж за металотермічний титан [12]. Очищення від легуючих компонентів, таких як алюміній, хром, ванадій, цирконій відбувається лише частково до використання титану в анодному матеріалі на 50–60 % [14].

#### **1.4.7 Термічне рафінування титанових відходів**

Термічний метод заснований на отриманні з відходів титану хлоридного титанвміщуючого розплаву з подальшим відновленням титану з нижчих хлоридів натрієм або магнієм.

Перша стадія процесу – отримання очищеного титанвміщуючого розплаву з відходів титану і тетрахлориду титану в розплавах хлориду натрію, хлориду калію або їх сумішей.

Хлорид натрію, висушений при температурі  $350-400 \text{ }^\circ\text{C}$ , змішують з подрібненими відходами титану крупністю не більше 5 мм в заданому співвідношенні і подають в хлоратор. Процес хлорування ведуть при температурі  $600-800 \text{ }^\circ\text{C}$  за наявності твердих солей або в розплаві [10,15]. У обох випадках він протікає достатньо швидко.

Розплав, що містить 20–25 % нижчих хлоридів титану, фільтрується крізь шар непрохлорированого залишку і фільтр-сітку, та у міру накопичення періодично переливається за надмірного тиску в міксер-дозатор. З міксеру розплав надходить в апарат відновлення. Непрохлорирований залишок з підвищеною масовою часткою домішок витягується з хлоратора і може бути перероблений за технологією хлорування титанових шлаків для отримання тетрахлориду титану.

Технологія другої стадії термічного рафінування повністю відповідає технології металотермічного отримання титану.

#### **1.4.8 Хлорування – відновлення титанових відходів**

Американською фірмою «Chemical and metallurgy Inc.» (штат Теннесі) досліджено чотири технологічні схеми регенерації титанових відходів за типом хлорування-відновлення. Під час порівняння й аналізу особливостей цих схем виявилось, що найбільш універсальним є хлорування титанових відходів тетрахлоридом титану в розплаві хлоридів лужних металів або хлориду магнію з отриманням нижчих хлоридів титану, з яких титан відновлюють магнієм або натрієм [12]. Цей спосіб аналогічний методу термічного рафінування.

#### **1.4.9 Виплавлення вторинних сплавів**

Принцип, що покладено в основу створення вторинних титанових сплавів, полягає у використанні для їх виробництва відходів різних серійно використаних сплавів за групами їх утворення на спеціалізованих підприємствах, наприклад, на моторо- і літакобудівних [15].

Шихта вторинних титанових сплавів складається з відходів первинних сплавів (у тому числі і стружки), губчастого титану і оборотних відходів вторинних титанових сплавів [10,15]. Застосування губчастого титану як розчинника пов'язано з необхідністю отримання металу з середнім рівнем властивостей в тих межах, що встановлені для титанових сплавів за хімічним складом і механічними властивостями. При використанні вторинних сплавів, у тому числі й титанових, слід пам'ятати, що вітчизняні вторинні сплави за якісними характеристиками і властивостями поступаються первинним.

#### **1.4.10 Гідрування-дегідрування**

Переробка титанових сплавів методом гідрування-дегідрування поширена у вітчизняній практиці. В основу методу покладено здатність



титану добре поглинати водень, внаслідок чого втрачати міцність і набувати високу крихкість [7]:



Метод дозволяє подрібнювати великогабаритні кускові відходи для подальшого рафінування і плавлення, а також отримувати гідриди титану, які використовуються в різних галузях промисловості.

Насиченню воднем піддавалися різні матеріали: відсіви губчастого титану, відходи компактного титану і його сплавів у вигляді стружки і обрізки. При гідруванні стружку потрібно очистити від мастила і емульсії з подальшим вакуумним відгоном за температури 347–397 °С протягом однієї години. Процес гідрування розвивається інтенсивно у разі вакуумного відпалу [8,16]. При цьому усувається пасивуючий вплив оксидної плівки. Інтенсивність насичення титану воднем залежить також від температурних умов.

#### **1.4.11 Гідрометалургійна деоксидація титанової стружки**

Метод гідрометалургійного деоксидації полягає у тому, що окислена до кольорів мінливості титанова стружка, яка містить в середньому 1,45 % кисню, після знежирення, обробляється так званим «м'яким» травленням, тобто гідрометалургійним способом [11,14]. Така обробка приводить до видалення оксидної плівки з поверхні стружки, що набуває природного вигляду. Втрати металу в процесі травлення не перевищують 5 %. Тривалість травлення і температура травильного розчину складають відповідно 25 хвилин і 55 °С. Травильний розчин може використовуватися тривало і багато разів після періодичного очищення від забруднень, що накопичуються [12].

При такій обробці масова частка домішок, що забруднюють стружку, знижується до допустимих меж для сплавів і в середньому становить: 0,15 % кисню; 0,03 % азоту і 0,034 % вуглецю.

## 1.5 Технологічні особливості знежирення титанової стружки

### 1.5.1 Способи знежирення стружки кольорових металів

Під час обробки металу різанням, збирання, зберігання та транспортування до місця переробки стружка замаслюється, зволожується, забруднюється сторонніми предметами (обтиральними кінцями, трісками та іншим сміттям), змішується з пилом від стирання різця і стружкою чорних металів. Основна маса стружки (95 %) містить 3–18 % води та змащувально-охолоджувальної рідини, яку застосовують під час різання алюмінієвих сплавів [10,11]. Змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР) – це складні композиції водних емульсій або мастильних рідин, що містять поверхнево-активні речовини, інгібітори корозії і мастило.

Ступінь засміченості стружки ЗОР, вологою і неметалевими домішками залежить як від пори року, так і від терміну зберігання на складах і тривалості транспортування її з металообробних підприємств на підприємства вторинної кольорової металургії. При зберіганні на відкритому повітрі сумарний вміст вологи і ЗОР може досягати 20–30 % [16,17].

Для отримання якісних сплавів стружку слід підготувати до металургійної переробки. Підготовка стружки до металургійної переробки полягає в сортуванні по крупності, дробленні великої фракції, сушінні, відсіванні дрібниці, видаленні заліза. У підготовленій стружці залишковий вміст вологи і мастила в сумі не повинен перевищувати 0,1 %, металургійний вихід – не менше 90 %.

Оптимальні умови збирання та використання титанових відходів в даний час ще не досягнуто. Титанова стружка, що утворюється на металообробних, металургійних і машинобудівних підприємствах, є найбільш забрудненим видом титанових відходів та не придатним для рециркулювання титану.

Залежно від розмірів напівфабрикатів і виду обробки титанова стружка утворюється різних розмірів: завтовшки від 0,05 до 4,00 мм і довжиною окремого витка від декількох міліметрів до 1 м і більше [15]. Більшість операцій механічної обробки здійснюють з охолодженням зони різання змащувальними і охолоджуючими рідинами (ЗОР) різних складів. Кількість мастила та вологи на поверхні стружки залежить від її товщини: при товщині стружки 0,05 мм; 0,10 мм і 0,20 мм вміст вологи та мастила дорівнює 30,0 %; 15,0 % і 7,5 % відповідно.

Для видалення вологи, мастила, залишків ЗОР з поверхні стружки кольорових металів відомі три способи очищення: термічний, механічний і гідрохімічний.

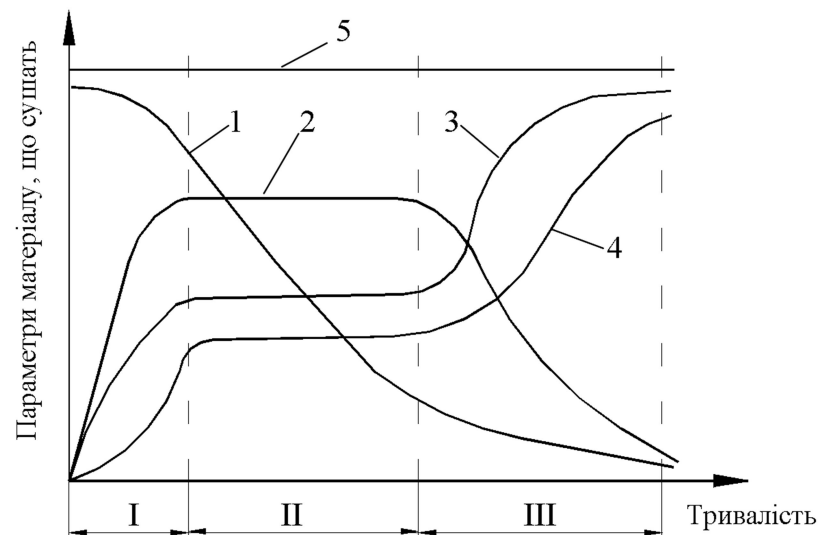
*Термічне знежирення* отримало найбільше поширення для очищення та сушіння алюмінієвої стружки в сушильних печах. На підприємствах вторинної кольорової металургії переважно використовують барабанні сушильні установки продуктивністю 1–5 т/год. Перспективним методом стабілізації роботи сушильних установок і підвищення їх продуктивності є попереднє видалення ЗОР центрифугуванням.

За напрямком руху матеріалу і сушильного агента розрізняють установки прямотечійного і протитечійного типу. У сушарках першого типу матеріал і димові гази рухаються паралельно, в протитечійних сушарках – назустріч один одному. Протитечія є кращою для глибокого сушіння, коли гази з високою температурою, стикаючись з висušеним матеріалом, не спричиняють його запалення. Недоліком протитечії є винесення легких частинок просушеного і сирого матеріалу в камеру завантаження і газохід, де можуть утворюватися відкладення. При прямотечії через загоряння ЗОР на початку робочої камери технологічний процес в сушильному барабані може виявитися некерованим.

Технологія сушіння стружки, як і інших вологих матеріалів, залежить в основному від форми зв'язку вологи з матеріалом. Зв'язок вологи і мастила з алюмінієвою стружкою носить механічний характер – рідина на поверхні та в

мікропорах утримується в невизначених кількостях. Вибір способу і теплового режиму сушіння металеві стружки обмежується умовами розплавлення і окиснення. Якщо алюмінієва стружка при сушінні нагрівається до температури плавлення, то в результаті пошкодження оксидної плівки можливе утворення “коржів” із кусочків нерозплавленої стружки і оксидів, зв’язаних між собою розплавом. Тому температура сушіння не має перевищувати температуру плавлення матеріалу, що висушується.

Видалення вологи і мастила з поверхні стружки можна поділити на три періоди (рис. 1.1).



1 – вологість матеріалу, %; 2 – щільність потоку вологи, що видаляється зі стружки,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; 3 – температура поверхні стружки, що висушується,  $^{\circ}\text{C}$ ; 4 – температура центру стружки, яку сушать,  $^{\circ}\text{C}$ ; 5 – температура сушильного агента,  $^{\circ}\text{C}$ ; I, II, III – періоди сушіння

Рисунок 1.1 – Динаміка змін параметрів алюмінієвої стружки під сушіння [17]

У перший період відбувається нагрівання стружки до температури випаровування легких фракцій ЗОР (протягом якого метал практично не

окислюється) і випаровування вологи з поверхні. Інтенсивність сушіння при цьому невелика, оскільки значна частина теплоти витрачається на нагрівання стружки, а не на видалення вологи і ЗОР. Явище термовлагопровідності гальмує процес сушіння.

Протягом другого періоду швидкість видалення вологи залишається постійною. Вся теплота, що підводиться, витрачається тільки на випаровування вологи. При цьому температура стружки підтримується на рівні температури випаровування. Відбувається випаровування легких фракцій ЗОР і води, утворення твердого залишку – коксу. Інтенсивність сушіння визначається виключно влагопровідністю.

Протягом третього періоду відбувається видалення коксу, яке супроводжується підвищенням температури, збільшення товщини і погіршення характеристик міцнісних властивостей плівки оксиду металу, внаслідок чого інтенсифікується окислення стружки. При цьому теплота, що підводиться, витрачається не тільки на процес випаровування ЗОР, але і на подальше підвищення температури стружки. Знову виникає різниця температур по перетину і спостерігається падіння інтенсивності сушіння через зменшення вологості матеріалу і внаслідок виникнення термовлагопровідності. Після закінчення цього періоду видалення вологи з матеріалу, що висушується, практично завершується, і температура його поверхні наближається до температури сушильного агента. Основне джерело надходження окислювачів в зону технологічного процесу – сушильний агент, в складі якого найбільш активним є кисень. Тому зниження втрат металу на окислення можна досягти якщо використовувати для сушіння димові газу з вмістом кисню не більше 7–9 % [16].

Термічний спосіб (сушіння) для знежирення титанової стружки у промисловій практиці застосування не отримав через окислення і можливе загоряння стружки. Проте дослідження і вдосконалення цього способу продовжуються [14].

*Вакуумне знежирення* титанової стружки є дорогим процесом [15]. Його застосування економічно виправдане для глибокого очищення титанової стружки при її підшихтуванні для виплавки злитків титану та його сплавів.

*Механічний спосіб* знежирення, заснований на видаленні мастил і емульсій за допомогою відцентрових сил, випробувано для алюмінієвої і мідної стружки при вмісті ЗОР на поверхні матеріалу не менше 6 % [12]. Залишковий вміст рідини після обробки стружки в спеціальних центрифугах (2–4 %) не забезпечує без додаткового сушіння можливість використання стружки в металургійному виробництві. Очищення від поверхневих забруднень в рідких середовищах за допомогою ультразвукових коливань забезпечує високу якість знежирення стружки. Проте через складність устаткування і шкідливий вплив ультразвука на обслуговуючий персонал метод не знайшов промислового застосування.

*Гідрохімічний (реагентний) спосіб* полягає у відмиванні мастил з поверхні стружки миючими розчинами.

### **1.5.2 Технологічні особливості гідрохімічного способу знежирення титанової стружки**

Гідрохімічний (реагентний) спосіб полягає у відмиванні мастил з поверхні стружки миючими розчинами. У крупнолабораторному масштабі досліджено струменевий і барботажний варіанти даного способу очищення титанової стружки в лужних розчинах. Як компоненти розчину, що використовуються для гідрохімічного очищення титанової стружки, зазвичай рекомендуються каустична і кальцинована сода, силікат натрію, натрієві солі ортофосфорної і пірофосфорної кислот, а також поверхнево-активні речовини.

### 1.5.2.1 Струменеве очищення

*Струменеве очищення* складається із замочування стружки в гарячому лужному розчині, активної обробки гарячою водою, що подається під тиском, і промивання холодною водою. Ступінь очищення стружки за струменевою технологією достатньо високий і задовольняє вимогам, що висувають до титанових відходів під час їх переробки різними способами. Залишковий вміст вуглецю в стружці досягає 0,04–0,09 % [4].

### 1.5.2.2 Барботаже очищення

*Барботаже очищення* складається із замочування забрудненої стружки в лужних розчинах та подальшого промивання з продуванням стислим повітрям (барботування). Процес очищення закінчують шестиразовим промиванням стружки від лужного розчину спочатку гарячою, а потім холодною водою. Використання барботерів як апаратів для промислового очищення титанової стружки характеризується застосуванням ручної праці, періодичністю і малою продуктивністю технологічного процесу, великими витратами гарячої і холодної води. Цей спосіб придатний для очищення стружки, забрудненої пилоподібними включеннями, та в обмеженому масштабі – для забрудненої мастилом.

При гідрохімічному знежиренні забрудненої титанової стружки та подальшій гідрометалургійній деоксидації окисленої титанової стружки [10] як основне обладнання запропоновано використовувати агітатори. У роботі [11] досліджено можливість проведення гідрохімічного очищення в апаратах з механічним перемішуванням.

Для дослідження використана стружка титанових сплавів ВТЗ-1 і ТС6 фракції –50+3 мм. Стружка штучно забруднювалася шляхом витримання протягом трьох діб в емульсії МР з температурою 40–45 °С. Просушуванням повітрям в ексікаторі з поверхні стружки видалялася стабілізуюча рідина,

при цьому на стружці залишався шар мінерального мастила. Забруднена стружка містила близько 4,5–5,0 % мастила. За однакових умов кожного дослід знежиренню піддавалися три проби стружки. За ступінь очищення стружки від залишків ЗОР приймалася величина, що дорівнює різниці мас стружки після знежирення і чистої стружки, віднесеної до маси мастила. Знежирення вивчено в реакторі, що термостатують, з механічним перемішуванням лопатевою мішалкою МІ–2П. Після закінчення знежирення лужний розчин зливався, стружка промивалася гарячою водою заданої температури, а потім холодною проточною водою і піддавалася сушінню в ексикаторі до постійної маси. Стружку зважено на аналітичних вагах ВЛР-200 з точністю до 0,01 мг. Вміст вуглецю в титановій стружці визначено методом індукційного нагрівання за допомогою аналізатора IR–12 "LECO" (межа точності вимірювань при вмісті вуглецю 0,01–0,08 % складає 0,0024–0,0070 %) [11].

У першій серії дослідів для знежирення титанової стружки використано різні композиції лужних розчинів на основі каустичної і кальцинованої соди, тринатрійфосфату. Знежирення проведено за температури лужного розчину і промивної води близько 50 °С з постійною швидкістю перемішування 60 об./хв. Вплив складу лужного розчину і тривалості знежирення на ступінь очищення стружки, промитої гарячою водою протягом двох хвилин, надано в табл.1.3 [11].

Таблиця 1.3 – Ступінь очищення титанової стружки у лужних розчинах різного складу за різної тривалості знежирення [11]

Склад лужного розчину, г/л			Ступінь очищення стружки, %, залежно від тривалості знежирення, хв			
NaOH	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3	6	9	12
3	9	15	78,3	80,6	81,7	82,4
3	15	–	75,3	77,0	78,9	79,6
9	18	–	84,5	87,2	88,6	89,1
–	20	30	93,5	95,0	94,8	94,3



Збільшення тривалості знежирення в лужних розчинах зазначеного складу (табл.1.3) на якість очищення стружки істотно не впливає. Встановлено, що обробка стружки лужними розчинами з низькою концентрацією компонентів не забезпечує отримання високого ступеня очищення від залишків ЗОР. У ряді дослідів із збільшенням тривалості лужної обробки (у розчині одного і того ж складу) спостерігається спливання мастила і утворення суцільної плівки мастила на поверхні розчину, яка потім частково розчиняється в розчині і осідає на поверхню стружки.

Вищий ступінь очищення стружки досягнуто при використанні розчину, що містить 20 г/л  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і 30 г/л  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , який вибрано для подальших досліджень. Тривалість обробки в лужному розчині вибрана 6 хв.

У другій серії дослідів варіювалися температури лужного розчину і промивної води в інтервалі 40–70 °С. Вплив температур лужного розчину і промивної води на ступінь очищення стружки, промитої гарячою водою протягом 5 хв, надано в табл.1.4 [11].

Таблиця 1.4 – Ступінь очищення титанової стружки за різних температур обробки лужним розчином и промивною водою [11]

Температура промивної води, °С	Ступінь очищення стружки, %, залежно від температури лужного розчину, °С			
	40	50	60	70
40	90,9	92,5	93,1	93,4
50	95,2	95,0	96,5	98,8
60	88,5	92,5	95,1	96,7
70	88,1	92,0	94,3	95,5

З даних табл.1.4 виходить, що температура лужного розчину сильніше впливає на ступінь очищення. Кращі результати очищення стружки отримано в інтервалі 60–70 °С для лужного розчину та в інтервалі 50–60 °С для промивної води. Після знежирення та промивання стружка мала блискучу поверхню, вміст вуглецю не перевищував 0,034 %.

У третій серії дослідів вивчено вплив швидкості перемішування на ступінь очищення стружки в інтервалі 45–120 об./хв. При малих швидкостях обертання мішалки досягається задовільна якість очищення (92,4–93,2 %). Неповне очищення можна пояснити повторним забрудненням стружки часточками мастила, що переходять в лужний розчин. Достатньо високий ступінь очищення стружки (98,1–98,8 %) отримано при швидкості перемішування 100 об./хв, що пояснюється сильною механічною дією рідини на поверхню, яка очищується, внаслідок чого неможливе повторне забруднення стружки мастилом.

#### Висновки.

1. Гідрохімічне очищення титанової стружки від залишків змащувальних і охолоджуючих рідин в апаратах з механічним перемішуванням є ефективним способом її підготовки для повернення титану в колообіг.

2. За результатами дослідження процесу очищення поверхні титанової стружки від залишків мастил і емульсій у різних композиціях лужних розчинів на основі каустичної і кальцинованої соди, тринатрійфосфату при температурі лужного розчину і промивної води близько 50 °С в агітаторах вибрано для подальших досліджень розчин, що містить  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Після очищення підготовлена титанова стружка мала матово-блискучу поверхню.

3. При гідрохімічному знежиренні забрудненої титанової стружки та подальшій гідрометалургійній деоксидації окисленої титанової стружки [10] як основне обладнання запропоновано використовувати агітатори. У роботі [11] досліджено можливість проведення гідрохімічного очищення в апаратах з механічним перемішуванням. Тому для розробки технології знежирення (очищення від залишків ЗОР) прийнято для використання апарат з механічним перемішуванням чанового типу – механічний агітатор.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Технологічна схема гідрохімічного знежирення титанової стружки

Підготовка титанової стружки до виплавки злитків титанових сплавів, отримання титанових порошків методом гідрування-дегідрування, отримання титанових порошків методом гідрометалургійної обробки складається з таких основних етапів:

- подрібнення стружки до розмірів, потрібних для подальшої переробки;
- очищення стружки від поверхневих забруднень, які утворюються під час механічної обробки сплавів,
- поділу, збереження і транспортування відходів.

Кількість мастила та вологи на поверхні титанової стружки залежить від її товщини, може становити до 30 % від маси стружки. Знежирення стружки ускладнено, якщо відношення площі поверхні стружки до її маси є значною величиною. Обробка титанових сплавів ВТ1-0, ВТ3-1, ВТ6 і ВТ8 зі швидкістю різання не більше 15–20 м/хв супроводжується утворенням зливної стружки [4]. При різанні з більшою швидкістю зливна стружка переходить в елементну. Змінення режимів різання супроводжується утворенням титанової стружки з різними кольорами мінливості.

Вибір технологічної схеми переробки титанових відходів залежить від багатьох факторів. Перш за все, виходять з оцінки фізико-хімічних властивостей сполук і ступеня складності апаратурного оформлення. Для залучення в колообіг титану забруднена титанова стружка повинна бути очищена від залишків змащувально-охолоджувальної рідини, емульсії, сторонніх предметів.

Технологічна схема процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки складається з таких операцій: приймання і складування титанової

стружки; подрібнення та розсівання; магнітна сепарація; знежирення і промивання; пневмосепарація, сушіння; затарювання і відвантаження споживачу (рис. 2.1).

Титанова стружка, що знаходиться в сталевих бочках місткістю 250 літрів (ГОСТ 15968-81), автомобільним або залізничним транспортом завозиться на приймальний склад металургійного підприємства. Кожну партію титанової стружки піддають піротехнічному і радіаційному контролю. Вибухонебезпечні і радіоактивні прироблення, що виявлені, відокремлюються. Стружку з сертифікатом складують окремо. У стружці, що надходить без сертифікату, визначається масова частка мастила, води і засміченості. Титанова стружка, що містить мастила більше 0,5 %, а також в'юноподібна стружка та змішана за марками сплавів відправляється на ділянки первинної обробки.

Грейферним краном з бункера вихідна титанова стружка подається в завантажувальну воронку молоткової дробарки СМД-7, де вона потрапляє під удар молотків, які швидко обертаються, руйнується від зіткнення з ними і відкидається до броньової плити. Частинки стружки після вдару об цю плиту, відлітають від неї і потрапляють знову під молотки. Зруйновані і відкинуті другий раз до броньової плити фрагменти стружки знову повертаються під молотки. Такий рух і руйнування титанової стружки відбувається доки частинки не потраплять на колосникові решітки і не вийдуть із зони руйнування крізь її отвори. Куски титанової стружки розміром більше 50 мм, що не встигли досягти потрібного розміру за перший прохід, через зону подрібнення рухомими молотками можуть руйнуватися на черневих решітках або підніматися і повертатися знову в зону інтенсивного подрібнення.

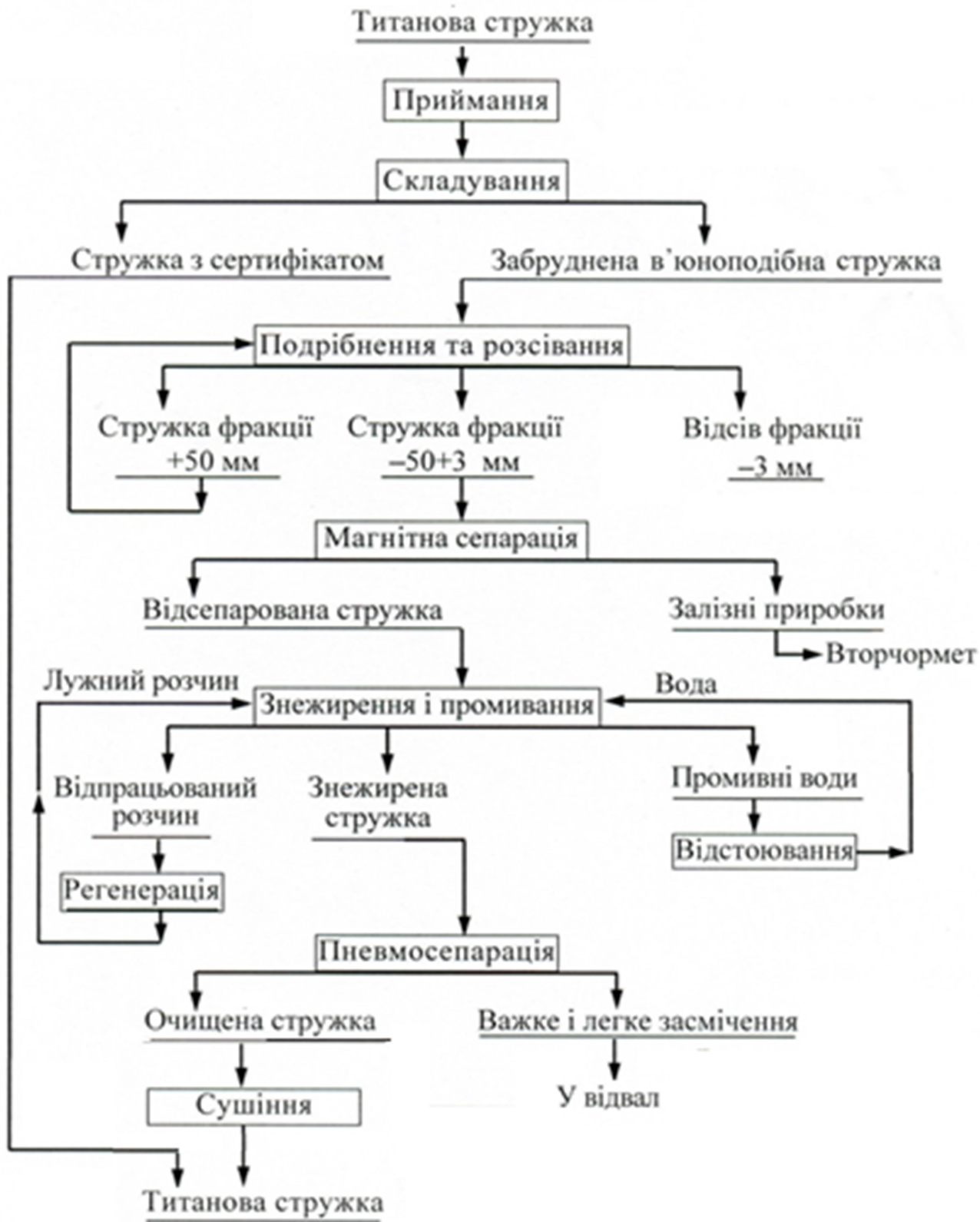


Рисунок 2.1 – Технологічна схема процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки

Після подрібнення стружка стрічковим конвеєром прямує на двоситовий віброгуркіт, де відбувається її розсівання на фракції. Фракцію +50 мм повертають на повторне дроблення в молоткову дробарку. Відсів фракції -3 мм прямує в спеціальний бункер, а потім у відвал. Фракція -50+3 мм поступає на магнітну сепарацію.

Магнітним сепаратором СЕ-3, з напруженістю магнітного поля на поверхні барабану не менше 120 кА/м, видаляються залізні приробки, які потім прямують на підприємства Вторчормету.

Стружка після відокремлення залізних приробок надходить на знежирення в механічний агітатор.

Агітатор для гідрохімічного знежирення є апаратом з механічною мішалкою. Через завантажувальне вікно в агітатор зверху засипається забруднена стружка, а через спеціальний штуцер заливається лужний розчин у співвідношенні р:т = 10:1. Знежирення стружки відбувається протягом 30 хвилин. Під час процесу відбувається відмивання залишків змащувально-охолоджувальних рідин, емульсій, поверхневого бруду з поверхні титанової стружки. Після закінчення процесу відпрацьований розчин зливається через патрубків у днищі. Для вивантаження шток опускають вниз і відкривають клапан. Регулюванням розміру отвору вивантажувального патрубку спочатку зливають відпрацьований лужний розчин, потім піднімають шток і закривають клапан. У цьому ж агітаторові відбувається промивання стружки гарячою і холодною водою (р:т = 5:1). Крізь дозувальний пристрій заливають промивну воду (спочатку гарячу, а потім холодну). Після чого стружку промивають гарячою і холодною водою. Потім очищену стружку вивантажують з апарата.

Знежирена стружка подається в пневмосепаратор для видалення важких включень і легких домішок. У верхній частині апарату знаходиться завантажувальне вікно, через яке подається стружка. У нижній конічній частині тангенціально підведене стисле повітря, що створює усередині апарата направлені висхідні потоки повітря. Важкі включення осідають на

днище апарата. Титанова стружка і легке засмічення, що захоплюються потоками повітря, спливають вгору; засмічення йдуть через переливний отвір разом з водою, а титанова стружка, при ударі у дефлектор, потрапляє у вивантажувальний штуцер.

Очищену вологу стружку сушать у вакуумній шафі ЦВШ. Разове завантаження не більше 100 кг, тривалість сушіння при температурі 80 °С становить 4–6 годин. Полична вакуумна сушарка є циліндричним горизонтальним апаратом з однією або двома поворотними торцевими кришками контактного типу. Усередині корпусу змонтовані полиці – плити з внутрішнім обігрівом. Волога стружка завантажується в деки, що встановлені на плитах. Апарат вакуумується до залишкового тиску 1,33 кПа. У плити подається теплоносій – повітря. Просушена стружка йде на затаювання.

## **2.2 Опис технології гідрохімічного знежирення титанової стружки**

Механічний агітатор для гідрохімічного знежирення є вертикальним апаратом з механічною мішалкою чанового типу. В агітатор через завантажувальне вікно зверху засипається порціями (по 23,3 кг) забруднена стружка (233 кг на один цикл), а через спеціальний штуцер заливається лужний содово-фосфатний розчин (р:т = 10:1), що складається з 20 г/л кальцинованої соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та 30 г/л тринатрійфосфату  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Вихідний лужний розчин має температуру близько 20 °С. В парову сорочку надходить нагрівна водяна пара, яка нагріває розчин і вихідну забруднену стружку до робочої температури. Відмивання вихідної стружки від поверхневого бруду і залишків ЗОР протікає протягом 30 хвилин. Під час процесу відбувається видалення поверхневого бруду з поверхні титанової стружки. Відпрацьований лужний розчин випускають через патрубок у днищі агітатора. Крізь дозувальний пристрій заливають промивну воду (спочатку гарячу, а потім холодну). Після чого титанову стружку промивають гарячою

і холодною водою (р:т = = 5:1). Аналогічно відпрацьованму розчину зливають промивні води. Для вивантаження очищеної титанової стружки шток опускають вниз і відкривають клапан. Регулюванням розміру отвору вивантажувального патрубку спочатку зливають відпрацьований содово-фосфатний розчин, потім піднімають шток і закривають клапан.

Механічний агітатор промивають промивними водами та після очищення використовують у наступному циклі гідрохімічного знежирення.

### **2.3 Розрахунок матеріального балансу процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки**

На переробку надходить титанова стружка, що містить 6 % мастила, 3 % залізних приробок, 5 % засміченості, 0,5 % кисню, 0,5 % неметалевих приробок. Гідрохімічне знежирення титанової стружки відбувається в вертикальних механічних агітаторах за одну стадію.

За практичними даними приймаємо, що на кожній операції технологічної схеми процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки деяка кількість металу втрачається, решта надходить на наступну операцію переробки. Коефіцієнти втрат на кожній операції технологічної схеми процесу знежирення надано в таблиці 2.1.

Розрахунок матеріального балансу процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки передбачає обчислення витрати забрудненої вихідної стружки, кількості та складу знежирювального розчину, кількості промивної води, кількості та складу відпрацьованого содово-фосфатного розчину, що утворюється.

Розрахунок матеріального балансу процесу гідрохімічного очищення забрудненої титанової стружки складаємо на 100 кг очищеної стружки.



Таблиця 2.1 – Коефіцієнти вилучення і втрат за операціями переробки

Назва операції	Коефіцієнти	
	вилучення титану	втрат титану
Приймання та відбирання проб	0,998	0,002
Складування	0,996	0,004
Подрібнення та розсівання	0,96	0,040
Магнітна сепарація	0,996	0,004
Знежирення та промивання	0,999	0,001
Пневмосепарація	0,996	0,004
Мокре подрібнення	0,95	0,050
Зневоднення	0,999	0,001
Розсівання	0,995	0,005
Сушіння	0,995	0,005

Масу забрудненої титанової стружки, що витрачається для отримання 100 кг очищеної стружки, визначаємо, враховуючи кількості втрат титану (коефіцієнти втрат титану  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$ ), тобто коефіцієнти вилучення титану на кожній технологічній операції:

$$y_1 = 1 - x_1 = 1 - 0,002 = 0,998;$$

$$y_2 = 1 - x_2 = 1 - 0,004 = 0,996;$$

$$y_3 = 1 - x_3 = 1 - 0,04 = 0,96;$$

$$y_4 = 1 - x_4 = 1 - 0,004 = 0,996;$$

$$y_5 = 1 - x_5 = 1 - 0,001 = 0,999;$$

$$y_6 = 1 - x_6 = 1 - 0,004 = 0,996;$$

$$y_7 = 1 - x_7 = 1 - 0,05 = 0,95;$$

$$y_8 = 1 - x_8 = 1 - 0,001 = 0,999;$$

$$y_9 = 1 - x_9 = 1 - 0,005 = 0,995;$$

$$y_{10} = 1 - x_{10} = 1 - 0,002 = 0,998;$$

де  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}$  – коефіцієнти вилучення титану на  $i$ -ій технологічній операції, частка;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$  – коефіцієнти втрат титану на  $i$ -ій операції технологічної схеми, частка.

Отже, для отримання 100 кг очищеної стружки потрібно вихідної стружки  $100 : (0,998 \cdot 0,996 \cdot 0,96 \cdot 0,996 \cdot 0,999 \cdot 0,95 \cdot 0,996 \cdot 0,999 \cdot 0,995 \cdot 0,995) = 111,949$  кг.

Кількості втрат титану на кожній технологічній операції визначаємо аналогічно, складаємо для знежирення стружки поелементний матеріальний баланс по титану та записуємо в таблицю 2.2.

За даними хімічного аналізу сировини масова частка кисню в окисленій титановій стружці становить 0,5 %. Отже, на гідрохімічне очищення надходить титанова стружка, що містить

$$106,263 \cdot 0,5 : 99,5 = 0,529 \text{ кг кисню.}$$

За практичними даними на гідрохімічне знежирення в агітатор надходить знежирювальний розчин зі співвідношенням р:т = 10:1; промивні води р:т = 5:1.

Визначаємо кількість знежирювального розчину, що слід витратити на знежирення 119,646 кг титанової стружки:

$$119,646 \cdot 10 = 1196,460 \text{ кг.}$$

Отже, на 119,646 кг окисленої титанової стружки слід витратити 1196,460 кг знежирювального розчину.

Визначаємо кількість знежирювального розчину, що слід витратити на знежирення 119,646 кг титанової стружки:

$$119,646 \cdot 10 = 1196,460 \text{ кг.}$$

Об'єм  $V_i$  (мл)  $i$ -го розчину, що надходить на знежирення, визначаємо за формулою:

$$V_i = m_i : \rho_i, \quad (2.1)$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -го розчину, г;

$\rho_i$  – густина  $i$ -го розчину, г/мл.

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс по титану

Надходження			Витрачання		
Найменування	Кількість		Найменування	Кількість	
	кг	%		кг	%
Кількість титану у вихідній стружці	111,949	100,00	Втрати титану при:		
			- відбиранні проб	0,224	0,20
			- складуванні	0,447	0,40
			- подрібненні	4,451	3,47
			- магнітній сепарації	0,427	0,38
			- знежиренні	0,106	0,09
			- пневмосепарації	0,425	0,37
			- мокре подрібнення	5,293	4,72
			- зневоднення	0,101	0,088
			- розсівання	0,502	0,44
			- сушіння	0,500	0,44
			Кількість титану в очищеній стружці	100,00	88,85
Усього	111,949	100,00	Усього	111,949	100,00

Густина травильного розчину розраховуємо за модифікованим методом Езрохи [18]:

$$\lg \rho = \lg \rho_0 + \sum A_i \cdot C_i, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  – густина багатокомпонентного розчину, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_0$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$A_i$  – коефіцієнти, які обчислюють за рівнянням [18]:

$$A_i = a_{0i} + a_{1i} \cdot t + a_{2i} \cdot t^2. \quad (2.3)$$

$t$  – температура розчину, °C;

$C_i$  – концентрація  $i$ -го компонента, кг речовини на 1 кг розчину.

$a_{0i}$ ,  $a_{1i}$ ,  $a_{2i}$  – коефіцієнти для деяких неорганічних і органічних речовин.

Тоді розраховуємо густину травильного розчину за формулою (2.2):

$$\lg \rho = \lg 988 + 0,20674 \cdot 0,1 + 0,3126 \cdot 0,001 = 5,01576.$$

Отже, густина травильного розчину становить  $1049,97 \text{ кг/м}^3$ , тоді приймаємо  $1050 \text{ кг/м}^3$ .

Об'єм знежирювального розчину обчислюємо за формулою (2.1):

$$V = 1000,00 : 1050,00 = 0,9524 \text{ м}^3$$

або становить 952,40 л.

Об'єм стружки обчислюємо за формулою (2.1), якщо насипна вага стружки  $300 \text{ кг/м}^3$ :

$$V = 1000,00 : 300,00 = 0,3333 \text{ м}^3$$

Результати виконаних розрахунків заносимо в таблицю 2.3.

Для здійснення гідрохімічного знежирення вибираємо агітатор об'ємом  $4 \text{ м}^3$  з коефіцієнтом заповнення 0,75. Отже, корисний об'єм апарата становить  $3 \text{ м}^3$ .

При відомих об'ємах знежирювального розчину ( $0,9524 \text{ м}^3$ ) і титанової стружки ( $0,3333 \text{ м}^3$ ), потрібних для обробки  $105,792 \text{ кг}$  вихідної титанової стружки, визначаємо масу речовин, які одночасного завантаження можна завантажити в агітатор:

$$106,828 \cdot 3,0 : (0,3333 + 0,9524) = 233 \text{ кг.}$$

Приймаємо масу одночасного завантаження стружки в агітатор  $233 \text{ кг}$ . Аналогічно проводимо розрахунок матеріального балансу знежирювання при одночасному завантаженні в агітатор  $233 \text{ кг}$  забрудненої стружки (тобто за один цикл) і результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3.

За даними матеріального балансу визначаємо витратні коефіцієнти для вихідних речовин на  $1 \text{ кг}$  титанової стружки:

Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс гідрохімічного знежирення титанової стружки

Надходження				Витрачання			
Речовина	Кількість			Речовина	Кількість		
	на 100 кг	за один цикл, кг	%		на 100 кг	за один цикл, кг	%
Титанова стружка, в тому числі:	119,646	233,000	4,895	Очищена титанова стружка, в тому числі:			
Ti	106,828	208,036	4,37	Ti	112,817	219,699	4,610
H <sub>2</sub>	0,6409	1,2482	0,030	Ti	106,204	207,204	4,349
C	5,7680	11,2339	0,236	H <sub>2</sub>	0,00106	0,0020	0,0000
O <sub>2</sub>	0,5340	1,0401	0,021	C	0,3190	0,0621	0,0006
засміченість	5,3410	10,4017	0,210	O <sub>2</sub>	0,5320	1,0360	0,0217
неметалеві домішки	0,534	1,0401	0,021	засміченість	5,3200	10,3601	0,217
Знежирювальний розчин, в тому числі:	1196,460	2330,000	48,95	неметалеві домішки	0,532	1,03601	0,0217
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	35,890	69,300	1,461	Відпрацьований розчин, в тому числі:			
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	23,930	46,600	0,978	Ti	1203,287	2342,741	49,230
O <sub>2</sub>	0,002	0,004	0,001	Ti	0,427	0,832	0,017
H <sub>2</sub> O	1136,64	2214,10	46,51	H <sub>2</sub>	0,6398	1,2462	0,026
Промивна вода, в тому числі:	1128,170	2196,990	46,14	C	5,736	10,6129	0,234
гаряча	564,085	1098,495	23,07	O <sub>2</sub>	0,002	0,004	0,0003
холодна	564,085	1098,495	23,07	засміченість	0,02	0,0416	0,0024
				неметалеві домішки	0,002	0,0041	0,0003
				Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	35,890	69,300	1,461
				Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	23,930	46,600	0,978
				H <sub>2</sub> O	1136,64	2214,10	46,51
				Промивна вода, в тому числі:			
				гаряча	1128,170	2196,990	46,14
				холодна	564,085	1098,495	23,07
Усього	2444,276	4759,990	100,00	Усього	2444,276	4759,990	100,00

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  69,30 : 233,00 = 0,3000 кг/кг стружки;

$\text{Na}_3\text{PO}_4$  46,600 : 233,00 = 0,2000 кг/кг стружки;

$\text{H}_2\text{O}$  2196,990 : 233,00 = 9,429 кг/кг або 0,0096 м<sup>3</sup>/кг стружки.

## 3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

### 3.1 Конструкція механічного агітатора

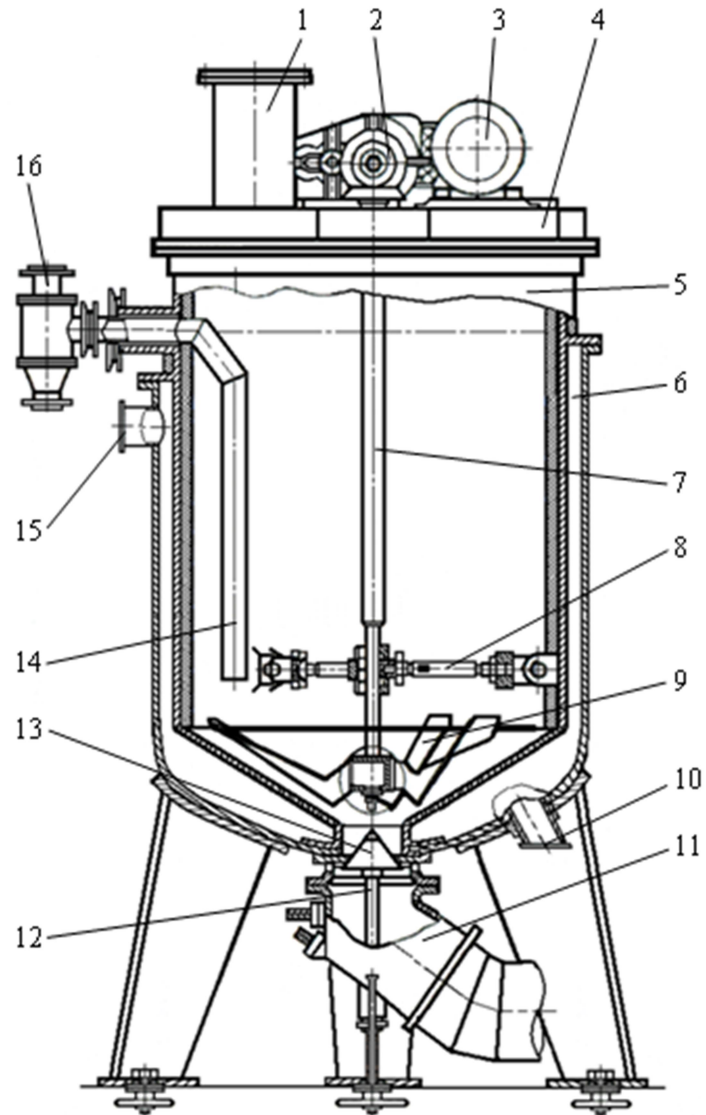
Механічний агітатор (рис. 3.1) призначений для полегшення контакту між титановою стружкою і лужним содово-фосфатним розчином упродовж необхідного часу і за оптимальних для процесу гідрохімічного (реагентного) знежирення умов. Після певного часу перебування в агітаторі відпрацьований лужний содово-фосфатний розчин зливається, очищена від залишків ЗОР стружка вивантажується, і після очищення реактора цикл повторюється. Процес періодичний.

Механічний агітатор для гідрохімічного лужного знежирення є реактором з опуклим днищем і з пристроями для механічного перемішування і нагрівання пульпи, заливання реагентного розчину, завантаження титанової стружки і вивантаження [14].

Пульпу підігрівають за допомогою парової сорочки «глухою» водяною парою через стінку реактора, утворений у сорочці конденсат видаляють.

Механічний перемішувальний пристрій складається з мішалки, вала і приводу. Мішалка є робочим органом пристрою, її закріплюють на вертикальному валу. Привід здійснюється від електродвигуна через редуктор. Обертальний рух рідини зумовлюється тиском на неї певної частини лопатей трилопатевої якірної мішалки.

До встановлення приймаємо поширений у промисловій практиці вертикальний сталевий (сталь марки X18H10T) агітатор об'ємом  $4 \text{ м}^3$ , внутрішнім діаметром 1600 мм, числом обертів вала  $46 \text{ хв}^{-1}$ , коефіцієнт заповнення становить 0,75. В механічному агітаторі встановлено якірну трилопатеvu мішалку, форма якої повторює контури днища реактора.



1 – завантажувальний патрубок; 2 – електропривід;  
 3 – електродвигун; 4 – кришка; 5 – корпус; 6 – парова сорочка; 7 – вал; 8 – хрестовина; 9 – якірна лопатева мішалка; 10 – вихідний штуцер; 11 – вивантажувальний патрубок; 12 – шток; 13 – клапан; 14 – труба; 15 – вхідний штуцер; 16 – дозувальний пристрій

Рисунок 3.1 – Механічний агітатор



### 3.2 Розрахунок механічного агітатора

Розрахункову потужність на валу перемішувального пристрою визначають за формулою [16]:

$$N = k_1 \cdot k_2 \cdot (\sum k + 1) \cdot N_M, \quad (3.1)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення реактора пульпою, яку перемішують:

$$k_1 = H_p / D_B; \quad (3.2)$$

$H_p$  – висота переміщуваного середовища, м:

$$H_p = 1,27 \cdot (V_c - V_d) / D_B^2 + h_d; \quad (3.3)$$

$V_c$  – об'єм середовища, м<sup>3</sup>;

$V_d$  – ємкість конічного днища, 0,3 м<sup>3</sup>;

$D_B$  – внутрішній діаметр реактора, м;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення реактора пульпою,  
 $k_2 = 1,8$ ;

$\sum k$  – сума коефіцієнтів, що враховує збільшення потужності, спричинене наявністю в реакторі додаткових пристроїв:

$$\sum k = k_3 + k_4 + k_5 + k_6; \quad (3.4)$$

$k_3$  – коефіцієнт, що враховує наявність в реакторі відбивних перегородок,  
 $k_3 = 1,0$ ;

$k_4$  – коефіцієнт, що враховує наявність додаткової горизонтальної лопаті,  
 $k_4 = 0,35$ ;

$k_5$  – коефіцієнт, що враховує наявність вертикальної труби,  $k_5 = 0,2$ ;

$k_6$  – коефіцієнт, що враховує наявність проміжної оори з хрестовиною,  
 $k_6 = 0,45$ .

$N_M$  – потужність, споживана мішалкою на перемішування пульпи за сталих умов, може бути розрахована за рівнянням:

$$N_M = k_N \cdot \rho_c \cdot n_M^3 \cdot d_M^5, \quad (3.5)$$

$k_N$  – критерій потужності, що вибирають по таблицях або графіках

$K_N = f(Re)$ , залежно від відцентрового критерію Рейнольдса [15]:

$$Re = \rho_c \cdot n \cdot d_M^2 / \mu_c, \quad (3.6)$$

$\mu_c$  – динамічна в'язкість пульпи, Па·с:

$$\mu_c = \mu_p \cdot (1 + 2,5 \cdot V_{стр} / V_c), \quad (3.7)$$

$\mu_c$  – динамічна в'язкість рідини, Па·с;

$V_{стр}$  – об'єм стружки, м<sup>3</sup>;

$\rho_c$  – густина пульпи, що перемішується, визначається за формулою:

$$\rho_c = 1 / \sum(x_i / \rho_i) = 1 / (x_1 / \rho_1 + x_2 / \rho_2), \quad (3.8)$$

$x_1, x_2$  – масові частки стружки і травильного розчину відповідно;

$\rho_1, \rho_2$  – щільність стружки і густина травильного розчину, кг/м<sup>3</sup>;

$n_M$  – число обертів мішалки, об/с;

$d_M$  – діаметр мішалки, м.

Визначаємо за формулою (3.3) висота переміщуваного середовища

$$H_p = 1,27 \cdot (3,0 - 0,3) / 1,6^2 + 0,385 = 1,72 \text{ м.}$$

Тоді за формулою (3.2) визначаємо коефіцієнт  $k_1$ :

$$k_1 = 1,72 / 1,6 = 1,075.$$

За формулою (3.4) визначаємо суму коефіцієнтів, що враховує збільшення потужності при наявності в реакторі додаткових пристроїв:

$$\sum k = 1,0 + 0,35 + 0,2 + 0,45 = 2,0.$$

Динамічну в'язкість пульпи визначаємо за формулою (3.7):

$$\mu_c = 0,001 \cdot (1 + 2,5 \cdot (360 : 300) / 3,0) = 0,002 \text{ Па·с.}$$

Густину пульпи, що перемішується, визначається за формулою (3.8):

$$\rho_c = 1 / (0,15/300 + 0,85/1036,97) = 757,75 \text{ кг/м}^3.$$

Відцентровий критерій Рейнольдса визначаємо за формулою (3.6):

$$Re = 757,75 \cdot 0,767 \cdot 1,5^2 / 0,002 = 6,5 \cdot 10^5.$$

Для обчисленого критерію  $Re$  вибираємо по графіку  $K_N = f(Re)$  [16] критерій потужності  $k_N = 0,3$ .

Потужність, споживану мішалкою на перемішування пульпи за сталих умов, розраховуємо за рівнянням (3.5):

$$N_M = 0,3 \cdot 757,75 \cdot 0,767^3 \cdot 1,5^5 = 780 \text{ Вт} = 0,78 \text{ кВт.}$$

Тоді визначаємо розрахункову потужність на валу перемішувального пристрою за формулою (3.1):

$$N = 1,075 \cdot 1,8 \cdot (2,0 + 1) \cdot 0,78 = 4,53 \text{ кВт.}$$

З врахуванням коефіцієнта корисної дії редуктора і конічної передачі, втрат на тертя в опорах і ущільненнях приймаємо електродвигун марки А02-2-У потужністю 6 кВт,  $n = 1450$  об/хв.

Визначаємо загальне передочне відношення [17]:

$$i_{\text{заг}} = i_p \cdot i_k = n_{\text{дв}} / n_M = 1450 : 46 = 31,5,$$

де  $i_k = 1$  – передаточне відношення конічної передачі.

За потужністю двигуна та передаточним відношенням вибираємо редуктор РЦД-350-31,5-4 ( $i_p = 31,5$ ).

Уточнюємо число обертів мішалки

$$\eta_M = n_{\text{дв}} / i_p = 1450 : 31,5 = 46.$$

Технічна характеристика механічного агітатора приведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика механічного агітатора

Найменування	Кількість
Повний об'єм реактора, м <sup>3</sup>	4,0
Коефіцієнт заповнення	0,75
Однчасне завантаження стружки, кг	360
Тип мішалки	якірна трилопатева
Число обертів мішалки, об/хв	46
Привід:	
Електродвигун А02-52-У	
потужність, кВт	6,0
число обертів, об/хв	1450
Редуктор РЦД-350-31,5-4	
Передаточне число конічної пари	1
Загальне передаточне число	31,5
Габарити:	
внутрішній діаметр реактора, мм	1600
висота рівня рідини, мм	1720
висота днища, мм	385
висота циліндричної частини, мм	1840
діаметр лопаті мішалки, мм	1500
товщина стінки реактора, мм	8

### 3.3 Розрахунок теплового балансу процесу гідрохімічного знежирення титанової стружки

Складаємо тепловий баланс гідрохімічного знежирення титанової стружки в механічному агітаторі за один цикл.

Витрати теплоти.

1. Витрати теплоти на нагрівання стружки до робочої температури  $Q_1$  визначаємо за формулою [18]:

$$Q_1 = (m_1 \cdot C_1 + m_2 \cdot C_2) \cdot (t_p - t_n), \quad (3.9)$$

де  $m_1, m_2$  – маса титану і мастила в стружці відповідно, кг (табл.2.3);

$C_1, C_2$  – теплоємність титану і мастила відповідно, кДж/(кг·°C);

$t_p, t_n$  – робоча і початкова температури відповідно, °C.

$$Q_1 = (208,036 \cdot 0,515 + 12,48 \cdot 1,67) \cdot (50 - 20) = 3868,732 \text{ кДж.}$$

2. Фізичну теплоту  $Q_2$  очищеної стружки, що уходить з агітатора, визначаємо за формулою [18]:

$$Q_2 = (m_3 \cdot C_3 + m_4 \cdot C_4) \cdot t_k, \quad (3.10)$$

де  $m_3, m_4$  – маса титану і водню, вуглецю в очищеній стружці відповідно, кг (табл.2.3);

$C_3, C_4$  – теплоємність титану і кисню відповідно, кДж/(кг·°C);

$t_k$  – кінцева температура розчину, °C.

$$Q_1 = (207,204 \cdot 0,528 + 1,036 \cdot 1,048 + 0,002 \cdot 0,689 + \\ + 0,0621 \cdot 14,4029) \cdot 47 = 5196,31 \text{ кДж.}$$

3. Фізичну теплота відпрацьованого розчину, що уходить,  $Q_3$  визначаємо за формулою:

$$Q_3 = (m_5 \cdot C_5 + m_6 \cdot C_6 + m_7 \cdot C_7 + m_8 \cdot C_8 + m_9 \cdot C_9 + m_{10} \cdot C_{10}) \cdot t_k, \quad (3.11)$$

де  $m_5, \dots, m_{10}$  – маса титану, кисню, водню, вуглецю, розчину відповідно, кг (табл.2.3);

$C_5, \dots, C_{10}$  – теплоємність титану, кисню, водню, вуглецю, розчину відповідно, кДж/(кг·°C).

$$Q_3 = (0,832 \cdot 0,528 + 0,004 \cdot 1,048 + 1,2462 \cdot 14,402 + \\ + 10,6129 \cdot 0,669 + 2330,0 \cdot 3,282) \cdot 47 = 360609,91 \text{ кДж.}$$

4. Кількість теплоти на нагрів агітатора  $Q_4$  визначаємо за формулою:

$$Q_4 = m_a \cdot C_{ст} \cdot (t_p - t_n), \quad (3.12)$$

де  $m_a$  – маса апарата, кг;

$C_{ст}$  – теплоємність сталі, 0,51 кДж/(кг·°С).

$$Q_4 = 1700 \cdot 0,51 \cdot (50 - 20) = 27540,0 \text{ кДж.}$$

5. Кількість теплоти, що втрачається у зовнішнє середовище,  $Q_5$  визначаємо за формулою:

$$Q_5 = 3,6 \cdot k \cdot F \cdot (t_p - t_n) \cdot \tau, \quad (3.13)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$F$  – площа поверхні теплопередачі, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – час теплопередачі, год.

Коефіцієнт теплопровідності для плоскої стінки визначаємо за формулою [19,20]:

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2), \quad (3.14)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від розчину до стінки агітатора у навколишнє середовище, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\delta$  – товщина стінки, 0,012 м;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Розраховуємо коефіцієнт теплопровідності за формулою (3.14):

$$k = 1 / (1/3,369 + 0,012/17,5 + 1/5,835) = 2,13 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}.$$

Площу поверхні агітатора визначаємо за формулою:

$$F = 2\pi R_n \cdot H + 2\pi R_n^2, \quad (3.15)$$

де  $R_n$  – зовнішній радіус апарата, м;

$H$  – висота апарата, м.

$$F = 2(0,8 + 0,012) \cdot 3,14 \cdot 1,84 + 2 \cdot 3,14 \cdot (0,8 + 0,012)^2 = 14,5 \text{ м}^2.$$

Тоді отримаємо за формулою (3.13):

$$Q_5 = 3,6 \cdot 2,1328 \cdot 18,3 \cdot (50 - 20) \cdot 0,4 = 1686,1 \text{ кДж.}$$

Надходження теплоти.

1. Фізичну теплоту  $Q'_1$  забрудненої стружки, що надходить в агітатор, визначаємо за формулою [18]:

$$Q'_1 = (m_1 \cdot C_1 + m_2 \cdot C_2) \cdot t_n. \quad (3.16)$$

$$Q'_1 = (208,036 \cdot 0,515 + 1,0401 \cdot 0,94 + 13,48 \cdot 1,67) \cdot 20 = 2612,55 \text{ кДж.}$$

2. Фізичну теплоту  $Q'_2$  знежирювального розчину, що надходить в агітатор, визначаємо за формулою [18]:

$$Q'_2 = (m_6 \cdot C_6 + m_7 \cdot C_7 + m_8 \cdot C_8) \cdot t_{\text{н}}, \quad (3.17)$$

де  $m_6, m_7, m_8$  – маса  $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{Na}_3\text{PO}_4, \text{H}_2\text{O}$  відповідно, кг;

$C_6, C_7, C_8$  – теплоємність  $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{Na}_3\text{PO}_4, \text{H}_2\text{O}$  відповідно, кДж/(кг·°С).

$$Q'_2 = (489,763 \cdot 0,797 + 1,735 \cdot 1,094 + 1308,502 \cdot 4,18) \cdot 20 = 178012,00 \text{ кДж.}$$

3. Фізичну теплоту  $Q'_3$  горячої промивної води визначаємо аналогічно:

$$Q'_3 = 2196,990 \cdot 4,1805 \cdot 50 = 320859,73 \text{ кДж.}$$

4. Кількість теплоти, що надходить з водяною парою, визначаємо за різницею теплоти, що витрачається і надходить:

$$Q'_4 = Q_{\text{витр}} - (Q'_1 + Q'_2 + Q'_3) \text{ кДж.}$$

$$Q'_4 = 719760,78 - 873358,85 = 218276,40 \text{ кДж.}$$

Результати розрахунків статей надходження та витрачання теплоти на гідрохімічного знежирення зводимо в таблицю 3.2.

*Визначаємо нагрів агітатора паром крізь сорочку.*

Для нагріву розчину водяною парою крізь стінку апарата за один цикл надходить 218276,40 кДж або 60632,33 Вт.

Витрату сухої нагрівної пари з врахуванням 7 % втрати теплоти визначаємо за виразом:

$$G = 1,07 \cdot Q / r = 1,07 \cdot 60632,33 / 2227 = 0,03 \text{ кг/с,}$$

де  $r = 2227$  кДж/кг – питома теплота конденсації водяної пари [19].

Визначаємо максимальну величину площі поверхні теплообміну за формулою [21]:

$$F = Q / (K_{\text{min}} \cdot \Delta t_{\text{сер}}) = 60632,33 / (120 \cdot 76,81) = 13,16 \text{ м}^2,$$

де  $K_{\text{min}}$  – мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі, 120 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

$\Delta t_{\text{сер}}$  – середня різниця температур 76,81 °С [17].

Визначаємо висоту сорочки за формулою

Таблиця 3.2 – Тепловий баланс механічного агітатора

Надійшло			Отримано		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	кДж	%		кДж	год
Фізична теплота стружки, що надходить	2612,55	0,363	Теплота на нагрів стружки	3868,732	0,538
Фізична теплота знежирювального розчину	178012,00	24,733	Фізична теплота очищеної стружки, що уходить	5196,31	0,722
Фізична теплота гарячої води	320859,73	44,578	Фізична теплота відпрацьованого розчину, що уходить	360609,91	94,68
Теплота, що надходить з водяною парою	218276,40	30,326			
			Теплота на нагрів агітатора	27540,00	3,826
			Теплота, що втрачається у зовнішнє середовище	1686,10	0,234
Усього	719760,78	100,00	Усього	719760,78	100,00

$$H_{\text{сор}} = F / (2 \cdot \pi \cdot R_{\text{зов}}). \quad (3.18)$$

Звідки за формулою (3.18) отримаємо висоту сорочки

$$H_{\text{сор}} = 13,16 / (2 \cdot \pi \cdot 0,812) = 2,58 \text{ м.}$$

Для агітатора приймаємо до встановлення сорочку висотою 2,58 м.



## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

### **4.1 Шкідливі та небезпечні фактори під час гідрохімічного знежирення титанової стружки**

Основними шкідливими і небезпечними факторами під час гідрохімічного знежирення титанової стружки є пари лужного розчину, титанова пил, електричний струм, шум, вібрація, вплив електромагнітних полів.

За технологією переробки стружки передбачається нагрівання робочих розчинів до температури 50 °С, що зумовлює утворення шкідливих парів в повітрі робочої зони. Пари лужного розчину, що містить  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , подразнюють слизові оболонки очей і верхніх дихальних шляхів. Гранично-допустима концентрація в повітрі робочої зони становить 0,5 мг/м<sup>3</sup> [22]. Клас безпеки – другий.

Вібрації, що виникають при дробленні і розсіванні титанової стружки впливають на нервову систему, шлунково-кишковий тракт, м'язи, зір, слух. Тривала дія вібрацій може привести до вібраційної хвороби – стійкого порушення фізіологічних функцій організму. Гранично-допустимий рівень віброшвидкості становить 92 дБ [23].

### **4.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища**

Технологічний процес гідрохімічного знежирення забрудненої стружки характеризується високим рівнем механізації і автоматизації.

Для підвищення рівня безпеки технологічного процесу і виробничого устаткування необхідно застосовувати додаткові пристрої, що виключають ймовірність впливу небезпечних і шкідливих впливів на обслуговуючий персонал.

Для попередження механічного впливу фізично небезпечних факторів на робочих місцях встановлюються захисні пристрої, що захищають все механізми і їх рухомі частини.

Технологічне обладнання оснащено блокувальними пристроями, які при порушенні або екстремальних відхиленнях параметрів обладнання зупиняють його роботу, не допускають виникнення небезпечних виробничих факторів. Встановлення захисного занулення дозволяє усунути небезпеку ураження електричним струмом.

Для попередження обслуговуючого персоналу про пуск і зупинку обладнання, порушення його роботи, підвищенні концентрацій отруйних речовин і вибухонебезпечних газів в приміщенні застосовується світлова та звукова сигналізація.

Зона приготування робочих знежирювальних розчинів, де можливий вплив концентрованих луг або кислот обмежується бар'єрами, підкранові галереї і посадочний майданчик кранівників – перилами. Для попередження вибуху кислоти зберігаються в приміщенні з постійно діючою обмінної вентиляцією в кислотоупорній тарі.

Для захисту і попередження шкідливої дії хімічних речовин слід застосовувати засоби індивідуального захисту (халат, нарукавники, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні, захисні окуляри), виконувати правила гігієни і працювати під витяжною шафою.

Для створення нормальних метеорологічних умов, видалення шкідливих речовин, що виділяються при знежирюванні, приготуванні розчинів, розсіванні стружки застосовується природна (аерація) і механічна (витяжні парасолі, двобортові відсмоктувачі) вентиляція.

Повітрообмін при природній вентиляції відбувається за рахунок різниці температур, а отже, і питомої маси повітря всередині виробничого приміщення і поза ним. Природна вентиляція виробничих приміщень може бути неорганізованою (провітрювання) і організованою (аерація) [24]. На відміну від природної механічна дозволяє виробляти попередню обробку

припливного повітря (зволоження, нагрів або охолодження і очищення). Загальна вентиляція застосовується коли шкідливі речовини, надлишкове тепло і волога виділяються розосереджено по всьому робочому приміщенню і видалити їх за допомогою місцевих відсмоктувань технічно не можливо, а також в тих випадках, коли необхідно розбавити до ГДК залишки повітря, що не видаляється місцевими відсмоктуваннями. Рециркуляція повітря в системах припливно-витяжної вентиляції застосовується в холодну і перехідну пору року. При рециркуляції частина повітря, що видаляється з приміщення після відповідного очищення від шкідливих речовин, знову прямує в приміщення.

Для ослаблення вібрацій, що виникають при подрібненні і розсіванні стружки, дробарки і гуркоти встановлені на самостійних фундаментах, віброізолюваних від підлоги та інших констукцій будівель.

Робота крана, вентиляторів, дробарок і гурокотів супроводжуються шумом, зниження якого до допустимого рівня досягається застосуванням звукопоглинальних і звукоізолюючих пристроїв і матеріалів.

Надійним способом захисту обслуговуючого персоналу від впливу електромагнітних полів є екранування. Робоче місце біля електромагнітного сепаратора захищається екранами з поглинаючими покриттями.

Висновки. Проведений аналіз шкідливих і небезпечних факторів в металургійній лабораторії дозволяє зробити висновок, що умови праці під час дослідження згущення червоного шламу характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчено класифікацію титанових відходів. Проаналізовано склад, властивості і особливості титанових відходів різних класів. Для залучення в обіг титану титанова стружка повинна:

- а) бути однієї марки сплаву, без кольорів мінливості;
- б) не забруднена маслом, емульсією, сторонніми предметами, уламками різців, які не мають магнітних властивостей;
- в) не бути гофрованою, волосоподібною, рулоноподібною.

2. Проаналізовано способи переробки титанової стружки. Для залучення титанової стружки в колообіг титану необхідно очистити стружку від залишків змащувально-охолоджувальних рідин, емульсії, сторонніх предметів.

3. Для знежирення забрудненої титанової стружки вибрано гідрохімічний спосіб знежирення лужними розчинами, що містять кальциновану соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , тринатрійфосфат  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , в апаратах з механічним перемішуванням чанового типу – агітатор.

4. Складено матеріальний баланс процесу знежирення титанової стружки та визначено витратні коефіцієнти.

5. Виконано розрахунок теплового балансу процесу знежирення титанової стружки. Визначено витрату нагрівної пари, геометричні розміри парової сорочки агітатора.

6. Вивчено особливості та розроблено технологію гідрохімічного знежирення титанової стружки. Очищена титанова стружка є сировиною для:

- виплавки злитків титанових сплавів;
- отримання титанових порошків методом гідрування-дегідрування;
- отримання титанових порошків методом гідрометалургійної обробки.

7. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів процесу очищення та знежирення забрудненої титанової стружки. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Ф. Чернега та ін. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
2. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
3. Сучасний стан і прогноз розвитку світової титанової промисловості на період до 2026 року. Повідомлення 4. Феротитан / Колобов Г. О. та ін. *Металургія*. Запоріжжя, 2020. Вип. 1. С. 5–10. URL: <http://metal.journalsofznu.zp.ua/index.php/journal/article/view/47/44> (дата звернення: 21.03.2023).
4. Nesterenko T. M. Modern state and technologies of titanium alloys production. *Innovation in der modernen Wissenschaft : monografische Reihe «Europäische Wissenschaft»*. Buch 12. Teil 1. Karlsruhe, 2022. S. 5,8–34,165–167.
5. Norgate T. E., Wellwood G. The potential applications for titanium metal powder and their life cycle impacts. *Ibid.* 2006. V. 58, N 9. P. 58–63.
6. Єгоров С. Г., Червоний І. Ф. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 292 с.
7. Нестеренко Т. М., Скачков В. О., Воденнікова О. С. Теорія і технологія порошкової металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 192 с
8. Nesterenko T. M., Nesterenko O. M. Degreasing of titanium chips for production of titanium powders by hydrometallurgical deoxidation method. *SWorld Journal*. 2017. Issue 13. P. 220–223. URL: <http://www.sworldjournal.com/e-journal/j13.pdf> (дата звернення: 03.04.2023).
9. Нестеренко Т. М. Виробництво сплавів кольорових металів : метод. вказівки до самостійної роботи та тестування. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 124 с.

10. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М. Дослідження впливу попередньої обробки поверхні стружки титанових сплавів на вибір подальшої технології рециркулювання. *Інноваційні підходи до розвитку техніки і технологій*. В 2 кн. Кн.2 : монографія. Одеса, 2015. С. 76–88.
11. Нестеренко Т. М. Технологічні особливості знежирення титанової стружки. *Спеціальна металургія: Вчора, сьогодні, завтра* : матеріали XIII всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 21квіт. 2015 р.). Київ, 2015. С. 673–678.
12. Трубін О. М., Фролов В. О., Мельніков В. П. Переробка відходів титанових сплавів методом залучення їх у шихту А. Н. Трубин. *Кольорові метали*. 2012. № 3. С. 68–71.
13. Шевченко В. В., П. І. Низькін, І. Д. Низькін. Оцінювання ефективності очищення титанової стружки від поверхневих забруднень вуглеводами. *Технологія легких сплавів*. 2004. № 2. С. 15–18.
14. Вакуумне знежирення поверхні титанових пластин / В. М. Шувалаєв та ін. *Металургія : наук. праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя, 2012. Вип. 3(28). С.156–160.
15. Джонс М. М. Підготовка відходів титанових сплавів до переробки. *Титан*. 2008. № 5. С. 27–30.
16. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Грицай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
17. Нестеренко Т.М. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : метод. вказівки до лабораторних робіт. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 65 с.
18. Нестеренко Т. М., Червоний І. Ф., Грицай В. П. Теоретичні основи гідрометалургійних процесів : підручник. Київ : Вища школа, 2013. 408 с.
19. Гороновський І. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Є. Ф. Довідник з хімії. Під загал. ред. А. Т. Пилипенко. 5-е вид., виправл. та доп. Київ : Наукова думка, 2003. 631 с.

20. Havlík Tomáš. Hydrometallurgy Principles and applications. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2008. 551 p.
21. Нестеренко Т. М., Воденнікова О. С. Конструкції технологічних агрегатів кольорової металургії : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
22. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.
23. Кожемякін Г. Б., Рижков В. Г., Белоконь К. В. Охорона праці та техногенна безпека : метод. вказівки до виконання розділу магістерських робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.
24. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.