

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Металургія
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз процесу витрати титанових шлаків
у рудотермічній печі

Виконав: студент II курсу, групи МЕТ-18-2тс
спеціальності 136. металургія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія карбових металів
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Кресса Олександр Олександрович
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н, доц. каф. мет. Волиш Р. М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н, доц. каф. мет. Хорченко О. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Металургії
Кафедра Металургії
Рівень вищої освіти другий
Спеціальність 136. металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія кольорових металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Тернопіль
«10» 01 2019 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кроссо Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз процесу вищавих титанових шлаків у руднокотершій печі

керівник роботи Вашер Р.М. канд. докт. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «10» 01 2019 року № 1540-с

2 Строк подання студентом роботи 30 грудня 2019 року

3 Вихідні дані до роботи Руднокотершина піч, Іммертговий концентрат, Відновний-кокс, способи підготовки шихти Аммертговий, Окачування та Брикетування

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні розробити) Вступ, Зміст, Аналітична Теоретична, Дослідницька частини, Охорона праці, Висновки, Література

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Мета та завдання, Новизна та практичне значення, Руднокотершина піч. Розроблення та виготовлення титану, Конструкція преси, Якість і кількість брикетів. Співвідношення шихти та концентрату

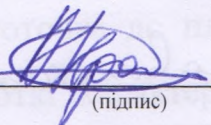
5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Вашер Р.М. доц. каф. мех.	31.09.19	
2	Вашер Р.М. доц. каф. мех.	31.09.19	
3	Вашер Р.М. доц. каф. мех.	31.09.19	
4	Вашер Р.М. доц. каф. мех.	31.09.19	

Дата видачі завдання _____

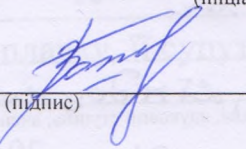
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічної вимоги титановаго шовку.	30.10.19	
2	Аналіз методів окискування шовку	15.10.19	
3	Аналіз в'язуючого та міцності окислюваних матеріалів	01.11.19	
4	Росвідження оптимального складу шовку.	01.12.19	
5	Шкідливості і небезпек росвідження.	15.12.19	

Студент 
(підпис)

O.O. Крессо
(ініціали та прізвище)

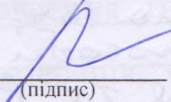
Рівник роботи (проекту)


(підпис)

P.M. Вашер
(ініціали та прізвище)

Формоконтроль пройдено

Формоконтролер


(підпис)

C.B. Башний
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дана робота складається з 102 сторінки, 8 таблиць, 12 рисунків та 24 літературних джерел.

Тема роботи: «Аналіз процесу виплавки титанових шлаків у руднотермічній печі»

Мета роботи: проаналізувати технологію виплавки титанового шлаку в руднотермічній печі з використанням різної окускованої шихти для отримання титанового шлаку з великим вмістом оксидів титану.

РУДНОТЕРМІЧНА ПЛАВКА, ТИТАНОВИЙ ШЛАК, ОКУСКУВАННЯ, БРИКЕТИ, АГЛОМЕРАТ, ОКАТИШИ, ОКСИДИ ТИТАНУ, КОНЦЕНТРАТ

У дипломному проекті розглянуто світове виробництво губчастого титану, основні питання виробництва титанових шлаків різними методами. Розглянуто способи одержання титанових шлаків та теоретичні основи процесу плавки. Описано фізико-хімічні основи процесу виробництва титанового шлаку

Описується технологічний процес виробництва титанового шлаку, а саме підготовка до плавки основних шихтових матеріалів та печі, розглядаються короткі характеристики руднотермічної печі та завантаження шихти у піч. Звертається увага на плавку, її супутні процеси, та процеси, що проходять після плавки.

Аналізується відновна плавка в руднотермічних печах та термодинаміка процесу відновлення титану. Проводиться аналіз методів окускування руд, таких як агломерація, окомкування та брикетування, окрім цього ведеться дослідження процесу плавки шихти з різними окускованими рудами. Технологія брикетування розглядається як основна серед інших методів окускування, приводиться аналіз тиску при брикетування та зв'язуючі речовини, які можна використовувати.

ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	5
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Світове виробництво титану.....	10
1.2 Основні властивості титану.....	13
1.3 Поширені методи виробництва титану.....	17
1.4 Способи одержання титанових шлаків.....	19
1.4.1 Двостадійний спосіб виплавки титанових шлаків.....	19
1.4.2 Виплавка титанових шлаків у циклонній печі.....	20
1.4.3 Руднотермічна плавка титанових концентратів.....	21
1.5 Теоретичні основи процесу плавки.....	23
1.6 Фізико-хімічні основи процесу виробництва титанового шлаку.....	25
2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	28
2.1 Опис технологічного процесу виробництва титанового шлаку.....	29
2.2 Підготовка до плавки.....	30
2.2.1 Основні шихтові матеріали.....	31
2.2.2 Приготування шихтових матеріалів до плавки.....	32
2.2.3 Короткі характеристики руднотермічної печі.....	35
2.2.4 Підготовка руднотермічної печі до плавки.....	41
2.2.5 Завантаження шихти в РТП.....	42
2.3 Плавка та супутні процеси плавки.....	42
2.3.1 Відновлювальна плавка в РТП.....	43
2.3.2 Доведення шлаку в РТП.....	44
2.3.3 Прогрів і відстій продуктів плавки в РТП.....	46
2.4 Процеси після плавки.....	46
2.4.1 Випуск продуктів плавки з РТП.....	47
2.4.2 Витримка титанового шлаку та відвантаження споживачу.....	49
2.4.3 Контроль якості титанового шлаку.....	50

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	52
3.1 Аналіз відновної плавки в руднотермічних печах.....	53
3.2 Термодинаміка процесу відновлення титану.....	56
3.3 Аналіз методів окускування руд.....	59
3.3.1 Агломерація.....	60
3.3.2 Окомкування шихти..	63
3.3.3 Брикетування.....	66
3.3.4 Дослідження процесу плавки шихти з різними окускованими рудами.....	67
3.4 Аналіз технології брикетування	70
3.4.1 Коротка характеристика сировини для брикетування.....	72
3.4.2 Аналіз тиску пресування.....	73
3.4.3 Коротка характеристика зв'язуючих для брикетування.....	75
3.4.4 Аналіз пресу для отримання брикетів.....	79
3.5 Дослідження технології отримання титанового шлаку.....	80
4 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	86
4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху з виробництва титанових шлаків.....	87
4.2 Заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища.....	90
4.3 Заходи з електробезпеки.....	91
4.4 Заходи пожежної безпеки.....	92
4.5 Охорона навколишнього середовища.....	94
4.6 Технологічні заходи щодо зниження шкідливих викидів в атмосферу.....	97
Висновки.....	99
Перелік джерел посилань.....	101

ВСТУП

Актуальність теми. Титан називають металом нової ери. Чистий метал, ковкий і добре піддається механічній обробці тиском. Титан став одним з основних конструкційних матеріалів, що знайшли широке застосування в техніці. Виробництво титану за останні роки отримало дуже бурхливий розвиток, що пояснюється унікальним поєднанням в ньому фізико-механічних властивостей і значними запасами в земній корі. У нього більш висока в порівнянні з іншими промисловими металами питома міцність, жароміцність і витривалість при температурах до 600 °С, він не холодноламкий при мінусових температурах, не магнітний, виняткова корозійна стійкість в морській воді, висока корозійно-механічна міцність і ерозійно-кавітаційна стійкість – це неповний перелік переваг титану завдяки яким він використовується в виробництві авіаційно-космічної техніки, суднобудуванні, хімічному машинобудуванні, медицині та багатьох інших областях.

Існує багато способів виробництва титану, таких як: натрієтермічний, іодидний, магнієтермічний, та перевагу віддають саме магнієтермічному способу, суть якого в відновленні тетрахлориду титану магнієм. Одним з етапів виробництва титану є плавка титанових концентратів у руднотермічній печі при якому отримується титановий шлак та чавун. До титанового шлаку пред'являються вимоги по вмісту домішок, які при подальшому хлоруванні будуть забруднювати тетрахлорид титану. Також при плавці титанового концентрату з відновником втрачається їх певна кількість з газами, що відходять з печі. Одним із способів вирішення цього питання є окускування титановмісної шихти перед плавкою.

Існують традиційні методи окускування такі як агломерація і окатування, але вони не забезпечують необхідну продуктивність і якість одержуваного матеріалу, так як матеріали в основному знаходяться в пилоподібному стані. Через це частіше починають вдаватися до брикетування як методу окускування

титановмісних продуктів виробництва. Таким чином, в даний час брикетування отримало новий поштовх у розвитку при окускуванні титановмісної сировини.

Мета і задачі роботи. Основною метою даної магістерської роботи було аналіз технології виплавки титанового шлаку в руднотермічній печі з використанням різної окускованої шихти для отримання титанового шлаку з великим вмістом оксидів титану.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан технології виплавки титанового шлаку в руднотермічній печі;
- проаналізувати методи окускування титановмісної сировини для подальшої плавки у руднотермічній печі;
- виявити оптимальний метод окускування, розмір та форму матеріалу шихти, зв'язуючі матеріали.
- дослідити склад шихти на виплавку титанового шлаку в руднотермічній печі з великим вмістом оксидів титану.

Об'єкт дослідження – процес виплавки титанового шлаку в руднотермічній печі.

Предмет досліджень – фізико-хімічні закономірності виплавки титанового шлаку у руднотермічній печі з використанням шихти різного складу.

Методи досліджень. міцність визначали проколюванням методом Бринелля; склад титанового шлаку та чавуну визначали методами аналітичної хімії та спектроскопії; обробку експериментальних даних проводили з використанням прикладних комп'ютерних програм.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні висновки і положення, що характеризують наукову новизну роботи полягають у наступному.

1. Встановлено метод окускування шихти, який є оптимальним для виробництва титанового шлаку з великим вмістом оксиду титану.

2. Виконано порівняльний аналіз складу брикетів та кількість зв'язуючого для їх приготування.

3. Встановили склад та співвідношення шихти для отримання титанового шлаку з великим вмістом оксиду титану.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновано склад та вміст брикетів для отримання титанового шлаку з великим вмістом оксиду титану.

2. Вдосконалено технологічні режими виплавки титанового шлаку в руднотермічній печі з вмістом оксиду титану більше 90%.

Особистий внесок дослідника. У магістерській роботі безпосередньо автором роботи сформульовано постановку завдань дослідження та вибрано наукові підходи до їх вирішення. Аналіз досліджень та визначення методу окускування шихтових матеріалів, вибір зв'язуючого матеріалу, для виробництва окускованої шихти. На основі отриманих результатів автором показана можливість отримання титанового шлаку з великим вмістом оксиду титану.

Апробація результатів роботи. Основні висновки та результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на XXIV науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. *Металургія як основа сучасної промисловості*. Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019.

Публікації. Основні результати роботи знайшли відображення у 2 публікаціях, серед них: 1 стаття у збірнику наукових праць магістрантів кафедри, 1 теза доповідей на конференціях.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Світове виробництво титану

Світове виробництво титанової губки в основному зосередилося в Україні, Казахстані, США, Росії, Японії та Китаї.

Виробниками губчастого титану на американському ринку є компанії Timet і Ogetmet. Американська титанова губка значно дорожче української, російської або казахської. Низька ж частка витрат на робочу силу в собівартості виробництва (в Україні та Казахстані вона приблизно - 11...12 %, а в американців - 20...25 %) дозволяє казахським і українським виробникам зберігати високу рентабельність.

В Японії в даний момент існують два великих виробника титанової губки – Sumitomo Stix і Toho Titanium. Поряд з цим Японія імпортує титанову губку високої якості. [1]

Україна є великим виробником титану на світовому ринку. Вона займає 8 місце в світі за запасами ільменіту, мінералу, з якого видобувають титан. Це становить близько 20 % всіх світових запасів. Крім того, тільки Україна, Китай і США мають повний цикл виробництва титанового прокату.

Всього в Україні розвідано 40 родовищ, з яких 12 детально розвідано і розпочато промисловий видобуток. Титанові (ільменітові) концентрати отримує Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат в Житомирській області і Вільногірський державний гірничо-металургійний комбінат в Дніпропетровській області. Їх загальна потужність становить майже 20 % світового випуску ільменітових концентратів і повністю забезпечує потреби України та вигідний експорт. Розвіданими запасами титанових руд обидва комбінати забезпечені на далеку перспективу.

Основні запаси титану в Україні відносяться до великих розсипних родовищ — Малишевського (Дніпропетровська область) та Іршанського (Житомирська область).

Титан в Україні використовується в пігментній промисловості (96 %), машинобудуванні (3 %) і електродної промисловості (1 %). Більше 80 % продукції експортується в країни СНД.

До титанової промисловості України належить видобуток і збагачення мінеральної сировини на Іршанському гірничо-збагачувальному комбінаті, виробництво пігменту двоокису титану на ВАТ «Сумхімпром» і виробництво титанової губки на Запорізькому титано-магнієвому комбінаті. [2]

Європейський ринок титану має ряд особливостей. Зокрема, те, що після зупинки в 1993 році компанії Deeside Titanium, вся титанова губка для всіх внутрішніх плавильників імпортується. Обсяги вироблюваної прокатної продукції європейських плавильників забезпечують лише половину внутрішнього попиту, тобто на відміну від США і Японії, Європа сильно залежить від прокату, який проводиться поза її межами.

У Казахстані працює Усть-Каменогорський титано-магнієвий комбінат, який розташований в північно-східній частині Казахстану. Між підприємствами відбувався обмін досвідом, велися спільні науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки.

У 2013 році виробництво титанової губки обмежилось шістьма країнами, в порядку виробництва, Китаєм, Японією, Росією, Казахстаном, США і Україною. Багато з великих виробників губки випускали з неї титанові злитки і напівфабрикати, а інші, відігравали важливу роль в якості постачальників губки на ринок. [1]

Станом на 2017 рік у світі налічувалося 19 компаній, що виробляють титанову губку, десять з яких знаходяться в Китаї. Багато компаній оголосили про подальші плани розширення. Якщо компанії реалізують задумане, то сукупні потужності з виробництва титанової губки досягнуть 300 тисяч тонн на рік до 2022 року, а при обліку чотирьох нових проектів в Китаї.

Світові потужності з виробництва губки титану складають в середньому 200 тисяч тонн на рік (рис. 1.1), що незначно більше обсягу попиту і пропозиції. Велика частина надлишку виробничих потужностей знаходиться в Китаї і ці

потужності призначені для виробництва матеріалу промислового сорту, хоча потужності з виробництва губки космічного сорту, головним чином, в Японії, Росії, США і Казахстані, більш, ніж достатні, щоб задовольнити попит. [2]

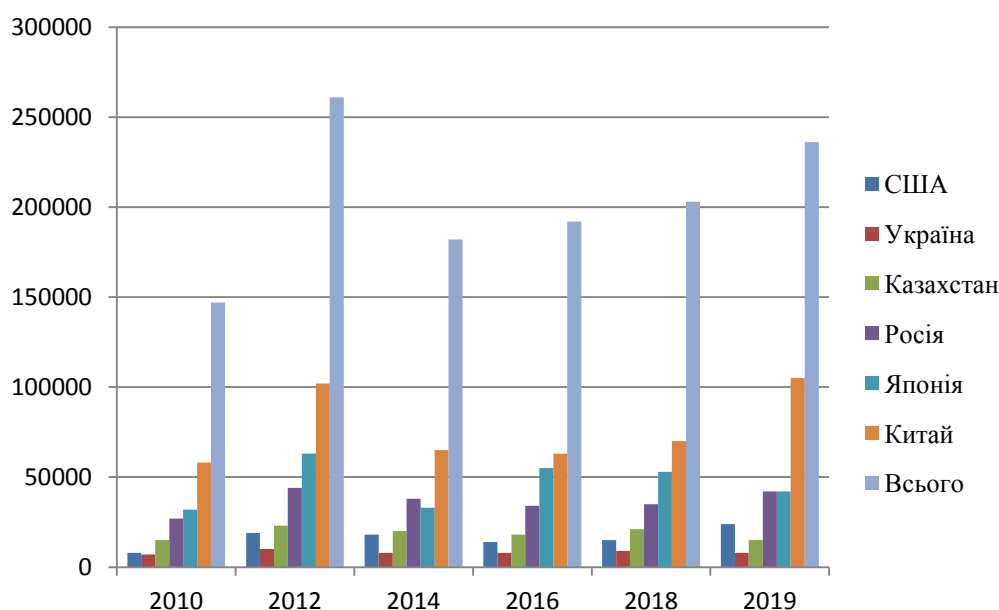


Рисунок 1.1 - Світове виробництво титану, тон на рік

У 2019 році сумарні світові потужності з випуску титанової губки оцінюються в 236 тисяч тонн, у тому числі США - 24000, Японія - 42000, Казахстан - 15000, Росія - 42000, Китай - 105000, Україна - 8000 тонн на годину. Ці показники порівняно кращі, ніж показники за останні роки, так що з великою впевненістю можна сказати, що виробництво титану буде тільки рости. Візуально виробництво титану за 2019 рік зображено на рисунку 1.2.

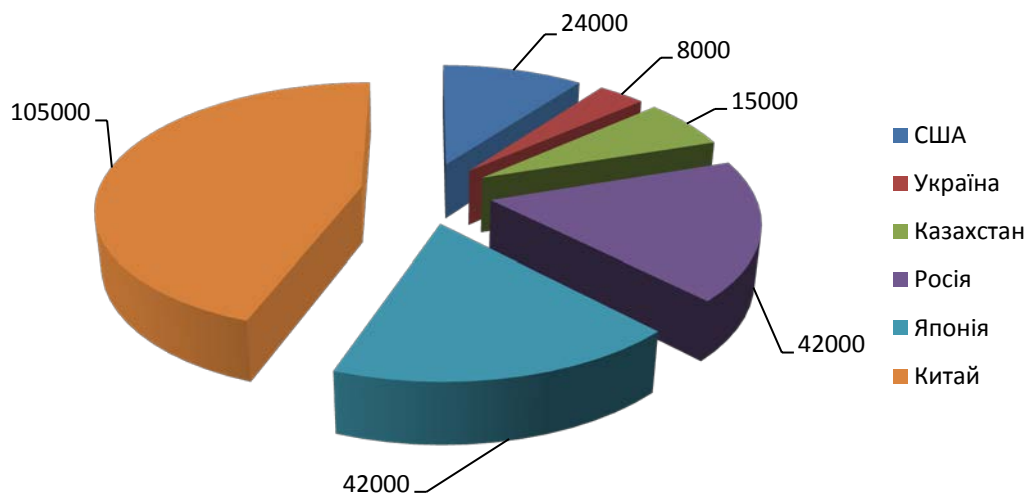


Рисунок 1.2 – Світові показники виробництва титану за 2019 рік, тон

1.2 Основні властивості титану

Титан – елемент IV побічної групи періодичної системи. За зовнішнім виглядом він нагадує сталь. Чистий метал, ковкий і добре піддається механічній обробці тиском. Фізичні і особливо механічні властивості титану сильно залежать від чистоти металу. Характерна властивість металу – здатність розчиняти кисень, водень, азот і вуглець. Домішки цих елементів роблять титан крихким. Основні властивості титану показані у таблицях 1.1 та 1.2. [1]

Таблиця 1.1 – Механічні властивості титану та його сплавів

Спосіб отримання	δB , МПа	δ , %
Магнієтермічний	440–590	20–35
Електроліз	230	55
Йодидний	245	82
BT 1-00	294–441	25
14BT-23	до 1200	14

Таблиця 1.2 – Властивості титану

Властивості титану	Значення
Атомна маса	47,9
Атомна маса стабільних ізотопів	46, 47, 48, 49, 50
Атомний радіус, км	0,145
Атомний об'єм, м ³ / (кг·атом)	$10,8 \cdot 10^{-3}$
Валентні електрони: 4s	2
3s	2
Розміри кристалічної решітки α -титану, нм: a	0,4679
c	0,2951
Розміри кристалічної решітки β -титану (900°C), нм	0,3306
Температура плавлення, °C	1668±5
Теплота плавлення, кДж/моль	18,8
Температура кипіння, °C	3177
Щільність, г/см ³ :	
При 25°C	4,505
α -титану при 870°C	4,35
β -титану при 900°C	4,32
у розплавленому стані	4,11

При нагріванні до температури в межах від 400 до 600 °С він покривається оксидною плівкою, що ускладнює подальше окислення. При більш високій температурі одночасно зі збільшенням швидкості окислення спостерігається розчинення кисню, що сильно знижує пластичність металу. [1]

Активне поглинання водню титаном спостерігається при температурі від 300 до 400 °С з утворенням твердих розчинів. На відміну від кисню й азоту водень можна видалити з титану нагріванням у вакуумі до 1000 °С. Вище 800 °С метал швидко поглинає азот і активно взаємодіє з вуглецевмісними газами.

З азотом і вуглецем він утворює тугоплавкі сполуки-нітриди і карбіди. Титан при підвищених температурах реагує з сіркою і сірководнем з утворенням дисульфідів. З галогенами метал взаємодіє при 100...200 °С з утворенням низькокиплячих або легкозаймистих хлоридів, фторидів, іодидів. За корозійною стійкістю титан близький до хромонікелевої швидкорізальної сталі.

Метал не кородує в холодній і киплячій воді, практично стійкий в азотній кислоті будь-якої концентрації на холоді і при нагріванні, розчиняється в плавиковій кислоті. Корозію в HCl можна сильно знизити додаванням окислювачів. [3]

Титанова губка – основна товарна продукція титану, хімічний склад якої показано у таблиці 1.3. [4]

Таблиця 1.3 – Хімічний склад і твердість по Бринелю титанової губки

Марка титанової губки	Ti	Fe	Si	Ni	C	Cl	O	N	Твердість НВ 10\1500\30
ТГ-90	99,74	0,05	0,01	0,04	0,02	0,08	0,04	0,02	90
ТГ-100	99,72	0,06	0,01	0,04	0,03	0,08	0,04	0,02	100
ТГ-110	99,67	0,09	0,02	0,04	0,03	0,08	0,05	0,02	110
ТГ-120	99,64	0,11	0,02	0,04	0,03	0,08	0,06	0,02	120
ТГ-130	99,56	0,13	0,03	0,04	0,03	0,1	0,08	0,03	130
ТГ-150	99,45	0,2	0,03	0,04	0,03	0,12	0,1	0,03	150
ТГ- Тв	97,75	1,2	-	-	0,10	0,15	-	0,10	-

Області застосування титану. Титан володіє цінною комбінацією високих механічних властивостей, які показано у таблиці 1.1 . Сплави титану відрізняються термостійкістю і особливо високою питомою міцністю при температурах від 340 до 450 °С, а нові сплави - до 600 °С. Розробляються сплави, стійкі при більш високих температурах. Ці характеристики обумовили можливість застосування титану як конструкційної матеріалу в реактивній авіації, у ракетній техніці, медицині та у багатьох інших галузях.

Титан і титанові сплави знаходять основне застосування в військовій сфері, особливо в авіації та ракетній техніці, де велике значення має зменшення ваги. Спеціальна область їх застосування - деталі, що працюють в інтервалі температур від -196 °С до + 482 °С, такі як обшивка, турбіни реактивних двигунів, кріплення та ін. [6]

Титанові сплави мають багато переваг порівняно з бронною сталлю та алюмінієвими сплавами. Головні з них - загальна міцність на розтягування і масову ефективність. У титанових сплавів ці показники в 1,5 рази вище, ніж у сталі. Титан застосовується з метою запобігання розтріскуванню деталей. Розподіл в титані відбувається з значно меншою швидкістю, ніж у інших металах, і тому він застосовується в місцях, особливо підданих виникненню тріщини.

Чудова стійкість в морській воді дозволяє широко застосовувати титан в елементах конструкцій морських судів. Він служить для виготовлення валів гребних гвинтів, підшипників та ряду інших деталей, підданих впливу морської води. Окрім стійкості до морської води титан володіє високою корозійною стійкістю і стійкістю до вологих хлоридів, що дозволяє використовувати його в хімічних лабораторіях.

Титан має модуль пружності, наполовину менший, ніж у сталі, що робить його перспективним заміником сталі в найбільш відповідальних вузлах автомобілів, мотоциклів, велосипедів та інших спортивних механізмів. В медицині титан знайшов широке застосування як матеріал для протезування, зокрема, в кардіостимуляторах, штучних протезах та ін.

Спортивний інвентар - висока питома міцність титану відкрила нову та швидкозростаючу галузь: ключки для гольфу, зняття для скелелазів, сноубордистів та ін. Її становленню допоміг імідж титану як високотехнологічного металу. Легкий, не змінюючи свого кольору при експлуатації, біосумісному матеріалу, титан використовується в домашніх цілях, переважно для виготовлення предметів підвищеної комфортності та високої вартості: окуляри, годинники та ін. [1]

Унікальна комбінація корозійної стійкості, міцності, легкості та довговічності роблять його незамінним для численних архітектурних рішень. Титанові сплави легко утилізуються.

До недоліків слід віднести їх високу ціну відносно сталі та труднощі зварювання, яке потрібно вести в інертному газі. Титан використовують майже у всіх сферах життя сучасної людини.

Згідно з дослідженням, проведеним французьким міністерством промисловості і торгівлі, головні сегменти світового ринку титану станом на 2019 рік зображено у таблиці 1.4:

Таблиця 1.4 – Основні сегменти світового ринку титану станом на 2019 р.

Громадянське авіабудівництво	81000
Військове авіабудівництво	17100
Енергетика та хімічна промисловість	112000
Спорт та розваги	14500
Архітектура	2500
Медицина	4000
Інше	4900
Всього	236000

Також данні з таблиці 1,4 можна зобразити в якості діаграми для більш наглядного розгляду відношень.

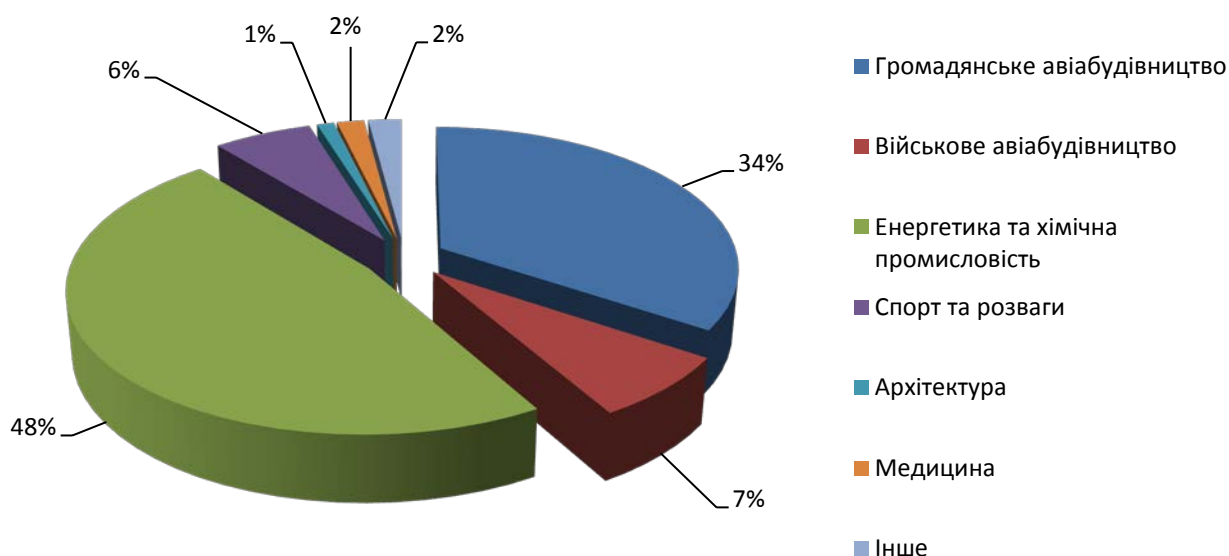


Рисунок 1.3 – Огляд головних сегментів світового ринку титану станом на 2019 рік [2]

1.3 Поширені методи виробництва титану

В основному титан отримують магнієтермічним, натрієтермічним та іодідним методом. Розглянемо ці методи.

Для виробництва чистішого титану використовується іодідний метод, запропонований ван Аркелем і де Буром. Металотермічний губчастий титан перетворюють на іодід, який потім переганяють у вакуумі. На своєму шляху пари іодіда титану зустрічають розжарений до 1400 °С титановий дріт. При цьому іодід розкладається, і на дроті наростає шар чистого титану. Цей метод виробництва титану малопродуктивний і дорогий, тому в промисловості він застосовується у край обмежено. [8]

Так виглядає магнієтермічний спосіб виробництва титану, розроблений в 1940 р. американським вченим У. Кролем. Двоокис титану за допомогою хлору (у присутності вуглецю) переводять в чотирихлористий титан:



Процес виробництво титану є трудомістким і енергоємним, та вже зараз стає однією з найважливіших галузей металургії. Здається, ще недавно титан називали рідким металом – зараз він найважливіший конструкційний матеріал. Інший варіант – хлорування в розплаві солей лужних металів NaCl і KCl. Наступна операція (в однаковій мірі важлива і трудомістка) – очищення TiC₄ від домішок – проводиться різними способами і речовинами. Чотирихлористий титан в звичайних умовах є рідиною з температурою кипіння 136 °С. Розірвати зв'язок титану з хлором легше, ніж з киснем. Це можна зробити за допомогою магнію по реакції:



Ця реакція йде в сталевих реакторах при 900 °С. В результаті утворюється так звана титанова губка. Її випарюють в герметичному вакуумному апараті при 950 °С, а титанову губку потім спікають або переплавляють в компактний метал.

Натрієтермічний метод виробництва металевого титану в принципі мало чим відрізняється від магнієтермічного, але має певні переваги, такі, як: легкість транспортування натрію внаслідок низької температури його плавлення; висока швидкість реакції відновлення і проходження її із повним використанням натрію; відсутність складного і енергоємного переділу вакуумної дистиляції; можливість ведення напівбезперервного процесу та ін. Разом з тим цьому методу властиві істотні недоліки. Натрій - дуже високоактивна речовина: на повітрі він швидко окислюється, а з водою реагує з вибухом. Все це вимагає дотримання спеціальних заходів безпеки. Негативними сторонами методу також є висока екзотермічність процесу відновлення, великий обсяг відновника і продуктів реакції, що призводить до необхідності застосування громіздкої апаратури.[8]

Один з етапів отримання титану це – титановий шлак, при виробництві якого потрібно розділити залізо та титан, та максимально перевести весь оксид

титану в шлак, а домішки залишити в чавуні, так як при хлоруванні потрібно додатково очистити від домішок, які потрапили під час плавки і магнієтермічний спосіб повністю відповідає усім вимогам. [13]

1.4 Способи одержання титанових шлаків

Існує декілька основних способів отримання титанових шлаків, серед яких: двостадійний спосіб виплавки титанових шлаків; виплавка титанових шлаків у циклонній печі; та руднотермічна плавка титанових концентратів. Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки, розглянемо ці методи більш детально. [9]

1.4.1 Двостадійний спосіб виплавки титанових шлаків

При двостадійному способі виплавки титанових шлаків (попереднє відновлення й наступне плавлення) видається можливим відновити оксиди заліза на твердій стадії й не допустити значного розвитку реакцій відновлення діоксида титану до тугоплавкого полутороксида. Підбором оптимальної кількості відновлювача й температури процесу можна обмежити небажане відновлення оксидів титану до співвідношення: $Ti_2O_3 : TiO_2 = 0,2 : 0,3$.

Завдяки форсованій плавці відновленого продукту без додавання відновлювача в електропечі запобігається перевідновлення діоксида титану в розплаві. При цьому виходять шлаки з низькою температурою плавлення (1500...1600 °C) і відбувається відділення металу від шлаків. Ефективність цього методу тим значніше, чим вище вміст оксиду заліза в концентраті, що переробляється.

Двостадійний процес може бути здійснений у різних апаратурних виконаннях: трубчаста піч – електропіч, шахтна піч – електропіч, піч киплячого шару – електропіч і т.п.

Цей спосіб дозволяє в 1,5...2 рази збільшити продуктивність електропічі, значно знизити питомі витрати електроенергії при плавці й при відповідних конструктивних змінах форми плавильних печей – це один зі шляхів організації безперервного процесу плавки. [6]

1.4.2 Виплавка титанових шлаків у циклонній печі

Одним із способів організації безперервного процесу виплавки шлаків є переробка залізотитанових концентратів у циклонних пічах, які в порівнянні з існуючими плавильними агрегатами мають ряд переваг.

При переробці матеріалів у циклонних печах досягаються, в малих об'ємах плавильних камер, високі теплові навантаження: виключається з технологічної схеми процесі окомкування сипучих дрібнозернистих матеріалів, тому що циклони добре пристосовані до пилової переробки дрібнозернистих концентратів; створюються найбільш сприятливі умови для тепло і масообміну в об'ємі й на циліндричній поверхні циклону. Були проведені дослідні плавки за схемою процесу – циклон – електропіч, на яким концентрат розплавляється в циклоні з наступним відновленням оксидів заліза з рідкої фази в електропечі.

Титановий концентрат уводиться в циклонну камеру діаметром 0,4 м. У верхній частині циклону були встановлені два тангенціально розташовані пальники, що працюють на природному газі й повітрі, збагаченим (до 38...39 %) киснем. Розплавлений концентрат надходив у ванну трифазної дугової електропечі, де відбувалося його відновлення антрацитом. У результаті досліджень установлена принципова можливість здійснення такої схеми плавки. При витраті природнього газу 0,083 м³/с і збагаченому киснем повітрі 0,47 м³/с продуктивність циклонної камери по розплаву була досить високою (0,34 кг/з або 1,56 кг/м³ · с).

Однак вивчення теплового режиму роботи циклонних пічок показало, що корисно використовуване тепло (на розплавлення матеріалу) становить невелику величину (13...20 %). Основна частина тепла (60...70 %) губиться

охолоджувальними газами, що мають високу температуру (1400...1500 °С), а також на охолодження поверхні стінок циклонних пічок водою (8...11 %). Тому робота циклонних пічей економічно ефективна лише при використанні тепла газів, що відходять, тобто при експлуатації циклону в якості енергоплавильного агрегату (гази направляються на вироблення пари, одержання електроенергії.)

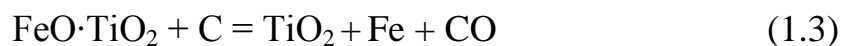
При двостадійному способі одержання титанових шлаків і плавці в циклонних пічах створюються певні труднощі:

- в апаратурнім оформленні процесів (розміщенні апаратів, транспортуванню й подачі в руднотермічну піч відновленого концентрату);
- у складнім регулюванні процесу;
- у необхідності використання тепла газів, що відходять, при роботі циклічних печей. [9]

1.4.3 Руднотермічна плавка титанових концентратів

Сутність методу відбудовної електроплавки полягає в тому, що шихта, що складається з концентрату й твердого відновлювача (антрациту або кам'яного вугілля) з попередньою підготовкою проплавляється в руднотермічній пічі. У результаті плавки відбувається виборче відновлення оксидів заліза до металу титан залишається в окисненій формі (через більшу спорідненість до кисню) і переходить у шлаки.

Основна реакція процесу може бути виражена в наступній формі:



Електроплавку титанових шлаків можна розглядати як операцію металургійного збагачення продукту титаном завдяки виділенню з нього заліза. Титановий шлак, одержуваний у процесі плавки, містить 85...90 % TiO_2 .

Електроплавка здійснюється в трифазних пічах при температурі 1600...1700 °С. Отриманий розплав, що містить шлак й чавун, за рахунок різниці щільності розшаровується в виливницях.

Труднощі плавки полягають в тугоплавкості шлаків, що обумовлюється високим змістом діоксида титану і його низьких оксидів, і малим змістом закису заліза (3...5 %).

Основна особливість процесу виплавки титанових шлаків, яка й обумовлює головні труднощі процесу, полягає в тому, що температура плавлення шлаків, що утворюються, значно вище (на 200...250 °С) температури плавлення вихідної шихти. Плавку концентратів бажане здійснювати таким чином, щоб реакції відновлення основної маси оксидів заліза пройшли до того, як матеріал буде розплавлений, тобто щоб реакції відновлення трохи випереджали процес плавлення шихти. Розв'язок цього завдання досягається шляхом спеціальної попередньої обробки концентрату перед плавкою. У процесі можливі наступні способи підготовки вихідного матеріалу до плавки: агломерація, брикетування або кускування шихти.

Питання про раціональну підготовку титанових концентратів до плавки має важливе значення. При переробці попередньо підготовленої шихти створюється можливість ефективності процесу:

- знизити питому витрату електроенергії, зменшити втрати концентрату з пилом, більш повно використовувати відновлення при плавці;
- інтенсифікувати роботу плавильних електропечей;
- створити передумови до здійснення безперервного процесу плавки.

Практика роботи підприємств з виробництва титанових шлаків показує, що кращі результати досягаються при роботі РТП на брикетованій або обдаваній шихті, тобто недоліками виплавки титанових шлаків у РТП є:

- необхідність підготовки шихти;
- утворення у процесі плавки нижчих оксидів титану, які різко ускладнюють відновлення оксидів заліза;
- необхідність високої концентрації теплової енергії;

- тугоплавкість шлаків, що виходять, їх висока хімічна активність;
- спільний злив чавуну й шлаків.

Руднотермічна плавка характеризується наступними особливостями:

1 Температура плавлення титанового шлаку (1600...1800 °С) значно перевищує температуру плавлення концентрату, тому для забезпечення процесу відновлення в рідкому стані потрібна значна теплова енергія.

2 По мірі накопичення в розплаві нижчих оксидів титану підвищуються температура плавлення, в'язкість і електропровідність розплаву; піч поступово переходить на роботу в дуговому режимі.

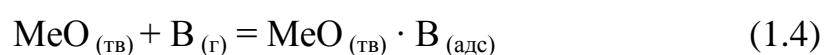
3 Розплавлені титанові шлаки характеризуються високою хімічною агресивністю, обумовленою підвищеною концентрацією оксидів титану. Для захисту футерування печі від руйнування на стінках ванни нарощують гарнісаж з перевідновленого шлаку і далі підтримують оптимальний його шар.

4 При обвалах шихти з верхніх ділянок колошника печі відбувається кипіння шлаку. Шихта, потрапивши в високотемпературний розплав шлаку, швидко прогрівається і відновлюється; при цьому у великому обсязі виділяються реакційні гази, що викликає кипіння шлаку. При кипінні шлак збільшується в об'ємі і піднімається до колошника печі, іноді і заливає його.[5]

1.5 Теоретичні основи процесу плавки

Процес відновлення таких складних кисневих сполук титану, якими є ільменіт і аризоліт у залізо-титанових концентратах, що переробляються, характеризується цілим рядом фізико-хімічних перетворень, і представляється в такий спосіб.

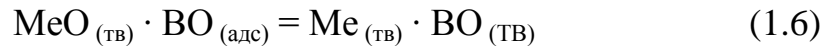
При використанні в якості відновлювача газоподібного реагенту, наприклад, оксиду вуглецю, у першу чергу відбувається адсорбція газу на реакційній поверхні оксиду:



Відновник дифузує усередину часток через тріщини й пори оксиду й шар твердих продуктів реакції. Потім відбувається взаємодія – відрив кисню від оксиду й перехід його до адсорбованих молекул відновника, та виникнення кисневої сполуки відновника й решітки нової фази – металу:



Заключним етапом є десорбція оксиду відновника з поверхні металу:

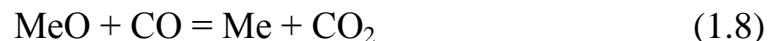


Газоподібний відновник дифузує через шар твердих речовин (оксиду й продукту його відновлення) і ламінарну плівку газу, що оточує кожну частку оксиду.

Сумарна реакція представляється в наступному виді:



При відновленні твердим вуглецем роль його зводиться до регенерації оксиду вуглецю. Процес здійснюється по двом реакціям, що протікають одночасно:



Вивчення кінетики реакцій відновлення ільменіту й залізо-титанових концентратів, а також мінералогічні й рентгенографічні дослідження продуктів їх відновлення свідчать про те, що попередня дисоціація складної сполуки титану ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) і складових (FeO і TiO_2) не спостерігається.

Як показали результати досліджень, рівноважна сполука газів при відновленні ільменіту воднем і оксидом вуглецю відрізняється від сполуки газів

при відновленні закису заліза. Це можна розглядати як доказ безпосереднього переходу складного оксиду в продукти реакції без попередньої дисоціації на оксиди. [4]

1.6 Фізико-хімічні основи процесу виробництва титанового шлаку

Титановий шлак виробляють електроплавкою ільменітового концентрату спільно з вуглецевим відновником (шихти) у ванні руднотермічної печі. В ході плавки протікають складні фізико-хімічні процеси відновлення оксидів, розплавлення і поділ утворюються продуктів реакції – титанового шлаку і попутної продукції карботермічного збагачення (що складається зі сплаву на основі заліза і брухту чорних металів вторинних).

Електроплавку ільменітового концентрату можна розглядати як операцію карботермічного збагачення концентрату титаном завдяки відділенню від нього заліза: вихідний концентрат містить 40...60 % діоксиду титану (TiO_2), а титановий шлак – 80...90 % діоксиду титану.

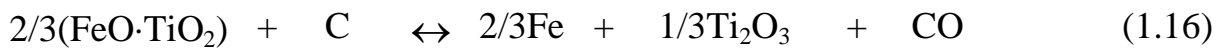
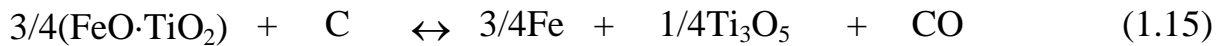
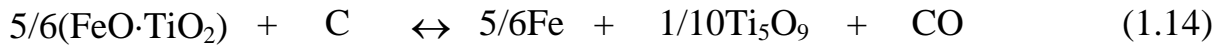
Велика частина оксидів заліза в ході плавки відновлюється вуглецем до металу, а оксиди титану та оксиди супутніх елементів формують шлак.

Al_2O_3 , MgO , CaO , MnO відновлюються в умовах рудно-термічної плавки незначно і майже повністю переходять у шлак. SiO_2 , Cr_2O_3 , сполуки сірки, фосфору, ванадію відновлюються частково і розподіляються між шлаком, попутним металом і відходять газами.

Процеси відновлення оксидів заліза і титану при електроплавці протікають одночасно: оксидів заліза – до металу, діоксиду титану – до оксидів титану нижчої валентності.

Хімізм взаємодій, які протікають описується рівняннями:





На практиці при достатній повноті протікання реакцій продуктами відновлення є головним чином Ti_2O_3 , TiO_2 і Fe . [4]

Головним завданням при відновній плавки ільменітового концентрату, що визначає основні техніко-економічні показники, є найбільш раціональне здійснення реакцій відновлення оксидів заліза. Взаємодія оксидів заліза з вуглецем починається при температурі близько 900°C .

У міру підвищення температури швидкість взаємодії зростає, забезпечуючи відновлення оксидів заліза до металу більш ніж на 80 % при температурі 1300°C . Процес карботермічного відновлення ільменітових концентратів вимагає ретельного визначення оптимального вмісту відновника в шихті.

Оптимальний вміст відновника в шихті підбирається з таким розрахунком, щоб при мінімальній витраті електроенергії забезпечити отримання рідкотекучих шлаків з необхідним вмістом FeO .

Недолік вуглецю призводить до малого ступеня відновлення оксидів заліза і збільшення тривалості плавки. Надлишок вуглецю в шихті викликає великі ускладнення в зв'язку з раннім утворенням нижчих оксидів титану, відповідно, різким збільшенням тугоплавкості шлаку і труднощами випуску шлаку з печі. У цьому випадку також висока ймовірність "закипання" розплаву з переведенням процесу в неконтрольований.

Для економічного ведення плавки на практиці вуглець в шихту задається з деяким недоліком, близько 70... 80 % від загальної кількості, потрібної для відновлення оксидів заліза до необхідного вмісту. Інша частина вуглецю задається в ванну РТП після розплавлення шихти для коригування складу шлаку за вмістом FeO .

В початковий період плавки, після прогріву шихти до 900 °С, відновлення оксидів заліза здійснюється в твердій фазі вуглецем, що містяться в шихті. В середині плавки і далі, коли у ванні печі накопичилася достатня кількість розплаву, і завершився процес початкового утворення шлаку, проводиться операція довідновлення шлаку, так звана «доведення», тобто відновлення оксидів заліза в рідкій фазі розплаву.

«Доведення» шлаку проводиться подачею відновника на поверхню розплавленого шлаку. У цей період відновлення протікає за рахунок реакцій на поверхні розділу фаз. Оксиди заліза відновлюються як твердим вуглецем, так і газоподібними продуктами реакцій – воднем (H_2) і оксидом вуглецю (CO), що утворюються в результаті розкладання летких компонентів антрациту і регенерації CO_2 .

Кількість відновника в шихті розраховується за вмістом оксидів заліза в концентраті, за умови відновлення FeO до Fe , а TiO_2 до Ti_2O_3 , і коригується залежно від коливань складу вихідних матеріалів, первинних шлаків і шлаків на випуску, а також від кількості шлаку, що залишився в печі від попередньої плавки, стану ванни руднотермічної печі (РТП) та інших факторів. [6]

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Титан високої чистоти, який використовується як конструкційний матеріал, отримують за складною багатостадійною схемою переробки титанових концентратів. Спочатку концентрат піддають електроплавці у рудновідновних печах потужністю 5 МВ·А для отримання передільного шлаку з високим вмістом титану. Коксик, що подається з шихтою забезпечує відновлення оксидів заліза з ільменітового розплаву, тому вміст оксидів титану у перерахунку на вміст TiO_2 досягає 82...84 %, а вміст заліза знижується до 3...4 %.

Шлак на випуску має температуру 1700 °С. На другій стадії титановий шлак піддають хлоруванню газоподібним хлором в присутності вуглецю для отримання тетрахлориду титану $TiCl_4$.

Тетрахлорид титану $TiCl_4$ представляє прозору безбарвну рідину, що димить на повітрі. Температура плавлення - $TiCl_4$ 24,1 °С, температура кипіння 136,3 °С, щільність 1,73 г/см³, теплота утворення $\Delta H_{обр}^{\circ} = -804$ кДж/моль.

Порошок шлаку перед хлоруванням брикетують з вуглецевим відновником. Хлорування брикетів ведуть в спеціальних реакторах-хлораторах, що представляють собою шахтну електропіч опору.

Металевий титан (губку) отримують металотермічним процесом, відновлюючи титану з $TiCl_4$ магнієм по екзотермічної реакції:



$$\Delta G_{298}^{\circ} = -558450 + 183,9T, \text{ Дж/моль} \quad (2.2)$$

Для стандартних умов $\Delta H_{298}^{\circ} = -446,1$ кДж та $\Delta G_{298}^{\circ} = -478$ кДж/моль. Процес проводять в атмосфері інертного газу. Отримана на стадії відновлення $TiCl_4$ магнієм в електропечі при 930...950 °С реакційна маса після охолодження являє собою губчастий титан, пори якого заповнені магнієм і $MgCl_2$. Її склад 60 % Ti, від 20 до 30 % Mg і від 10 до 20 % $MgCl_2$. [10]

2.1 Опис технологічного процесу виробництва титанового шлаку

Відновлювальна руднотермічна плавка ільменітового концентрату проводиться періодичним способом в напівзакритому режимі роботи руднотермічної печі (РТП). Для виплавки титанового шлаку використовуються трифазні електродугові руднотермічні печі потужністю 5000 кВт із закритим водоохолоджуванним склепінням і негерметизованими бічними вікнами.

Напівзакритий режим роботи РТП характеризується мінімальним підсмоктуванням повітря в підводний простір печі і мінімальними втратами тепла з відходящими технологічними газами. Підсмоктування повітря відбувається тільки через зазори між електродами і кесонами і при відкритому робочому вікні РТП під час операції доведення шлаку. Відходять гази РТП надходять в двоступеневу систему газоочистки для допалювання оксиду вуглецю і очищення від пилу перед викидом в атмосферу. [4]

Технологічна схема виробництва шлаку титанового включає наступні основні процеси:

- приготування шихти для плавки;
- підготовку РТП до плавки;
- завантаження шихти в РТП;
- відновну плавку в РТП;
- доведення шлаку в РТП;
- прогрів і відстій шлаку в РТП;
- випуск продуктів плавки з РТП;
- витяг продуктів плавки з виливниць і шлаковень;
- відвантаження шлаку споживачеві.

Технологічна схема процесу отримання титанової губки приведена на рисунку 1.1.

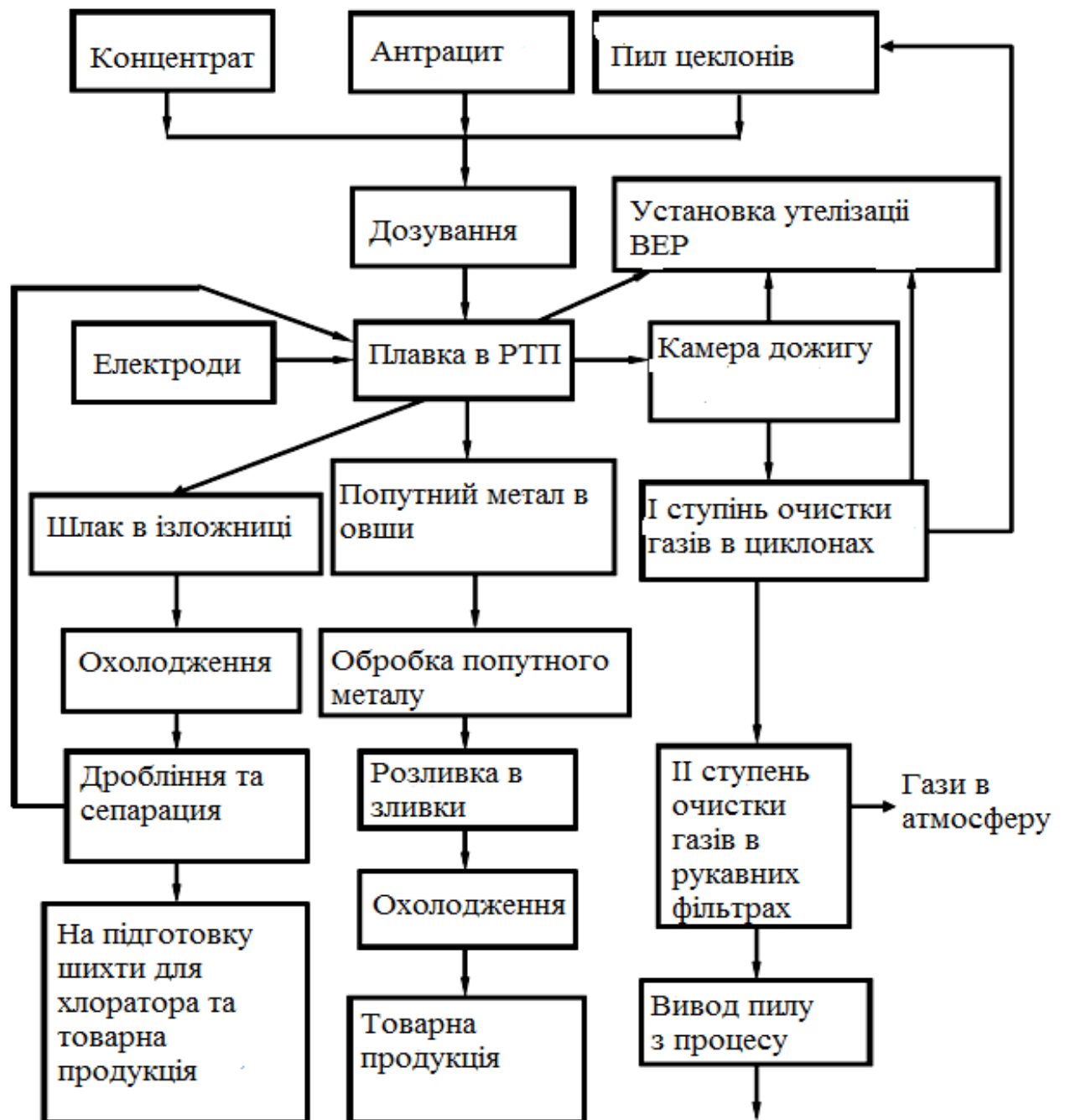


Рисунок 2.1 - Технологічна схема металотермічного виробництва титану на основі чотирьохлористого титану

2.2 Підготовка до плавки

Шихту для плавки в руднотермічній печі готують з ільменітового концентрату і вуглецевого відновника. Як вуглецевий відновник використовують вугілля (антрацит), коксову дрібницю, кокс пековий електродний.

Підготовка РТП до плавок включає перевірку стану всіх виробничих вузлів печі, при необхідності, їх очистку та ремонт. Очищення та ремонт проводиться на відключеній печі.

Завантаження шихти в РТП виробляють з пічних бункерів по центральній тічці при закритих робочих вікнах печі. Разом з шихтою в піч подається пил циклонів першого ступеня газоочистки технологічних газів РТП. Пил рукавних фільтрів другого ступеня газоочистки технологічних газів РТП задається в процес разом з ільменітовим концентратом. [7]

2.2.1 Основні шихтові матеріали

Хімічний склад шихти отримуємо методом підбору шихти, за вже знайомим складом. В результаті змінивши масову частку певних елементів при дослідженні ми отримали склад шихти, який відповідає ДСТУ.

Хімічний склад шихтових матеріалів, що використовували у дослідженні, такий:

Концентрат ільменітовий: TiO_2 – 63,0 %; FeO – 32,8 %; Fe_2O_3 – 7,5 %; SiO_2 – 2,0 %; Al_2O_3 – 3,0 %; MgO – 0,85 %; MnO – 0,95 %; CaO – 0,44 %.

Антрацит марки АММ: С – 88; зола – 7,5; летучі – 3; волога – 1,5.

Зола антрациту: Fe_2O_3 - 38 %; SiO_2 – 42 %; Al_2O_3 – 20 %.

Титан у концентраті представлений у вигляді ільменіту $Fe \cdot TiO_2$.

Розподіл складових концентрату по продуктах плавки наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розподіл складових концентрату по продуктах плавки, %

Продукт	TiO_2	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	MgO	MnO	CaO	V_2O_5
Шлаки	95,0	6,0	-	92,0	99,0	98,5	92,0	99,0	49,5
Чавун і МФ	3,0	91,0	98,5	7,0	-	-	7,0	-	48,0
Пил	2,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	2,5

Оксид TiO_2 концентрату, що переходить у шлаки, відновлюється до Ti_3O_5 ; FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO , CaO , V_2O_5 які переходять в шлак не змінюються.

TiO₂ концентрату, що переходить у чавун і магнітну фракцію, відновлюється до металу. Fe₂O₃ при переході в чавун і магнітну фракцію спочатку відновлюється на 100% до FeO, який у свою чергу повністю відновлюється до металу. MgO концентрату, що переходить у чавун і магнітну фракцію, повністю відновлюється до металу.

TiO₂, FeO, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO, CaO, V₂O₅, що переходять у пил, не змінюються. Fe₂O₃ золи антрациту повністю відновлюється до металу, який переходить у чавун і магнітну фракцію. Летючі антрациту перебувають у вигляді CH₄.

Досліди показали, що при плавці, розливанні, магнітній сепарації втрати становлять для чавуну й магнітної фракції 1 %, для шлаків 1,2 %. Al₂O₃ золи без змін переходить у шлаки, SiO₂ золи антрациту на 75 % відновлюється до кремнію й переходить у чавун, а на 25 % без змін переходить у пил. Вміст вуглецю в чавуні 2 % від кількості заліза, що переходить із концентрату.

Витрати електродів 0,02 т на 1 т шлаків. Через дуже малу зольність електродів умовно приймають, що вони складаються тільки з вуглецю, який згорає до С. Витрати вуглецю електродів компенсує вигар відновника.

Методика досліду відповідає рудновідновній плавці. Процес проводився при високих температурах, що створюються головним чином за рахунок могутньої електричної дуги руднотермічної печі. Такі процеси зазвичай є безперервними. У міру проплавлення підготовлену шихту завантажують у ванну, а отримувані продукти періодично випускають з електропечі. [4]

2.2.2 Приготування шихтових матеріалів до плавки

Процес приготування шихти для плавки включає: Доставку ільменітового концентрату та вуглецевого відновника зі складу сировини і транспортування в дозувальний бункер; дроблення вуглецевого відновника і транспортування в дозувальний бункер та дозування компонентів шихти в кубель.

Ільменітовий концентрат та вуглецевий відновник зберігаються на складі сировини в спеціально призначених для цієї мети траншеях. Доставка цих матеріалів в завантажувальні бункери проводиться за допомогою електромостового грейферного крана.

Подача ільменітового концентрату з завантажувальних бункерів на стрічковий конвеєр проводиться тарілчастим живильником. Спільно з концентратом на стрічковий конвеєр подається пилом другого ступеня газоочистки технологічних газів РТП. Далі концентрат з пилом другого ступеня газоочистки по системі стрічкових конвеєрів подається в бункер вузла дозування плавильного відділення.

Залежно від виду використовуваного вуглецевого відновника подальша його підготовка і передача в бункер вуглецевого відновника вузла дозування плавильного відділення здійснюється за різними схемами:

- при використанні вугілля (антрациту) або пекового коксу як вуглецевмісної відновника для приготування шихти, матеріали піддаються дробленню на валковою дробарці, а потім передаються в бункер вуглецевого відновника вузла дозування плавильного відділення;

- при використанні коксової дрібниці в якості вуглецевого відновника процес дроблення виключається. подача коксової дрібниці з завантажувального бункера на стрічковий конвеєр проводиться живильником електровібраційним, далі коксова дрібниця по системі стрічкових конвеєрів подається в бункер вуглецевого відновника вузла дозування плавильного відділення. З бункера вугілля або пековий кокс передається в валкову дробарку за допомогою лоткового живильника.

Дроблення вуглецевмісної відновника і транспортування в дозувальний бункер. Вугілля або пековий кокс, використовувані в якості відновника при приготуванні шихти, дробляться до шматків розміром не більше 10 мм.

Подрібнений до необхідного розміру вуглецевмісний відновник через тічку дробарки вивантажується на стрічковий конвеєр і далі за системою стрічкових конвеєрів подається в бункер вуглецевмісної відновника. Вугілля,

що використовується на операції доведення шлаку в РТП, що проводиться в ручному режимі, дробленню не підлягає. [6]

Дозування компонентів шихти. Дозування компонентів шихти, призначених для плавки в РТП, проводиться з дозувальних бункерах ільменітового концентрату і вуглецевмісної відновника вузла дозування плавильного відділення. З дозувальних бункерів ільменітовий концентрат і вуглецевмісний відновник завантажуються по черзі в розрахунковому кількості в кубель, встановлений на візку, розташованої на вагах. Маса ільменітового концентрату, що завантажується в кубель для подальшого заповнення пічних бункерів, становить 2,0 т.

Основна дозування шихти проводиться з розрахунку вмісту у ній від 6 % до 10 % (від 120 кг до 200 кг) вуглецевмісної відновника. З метою прискорення утворення ванни розплаву і коригування конфігурації гарнісажу в середню або нижню зону печі вантажиться від 1,0 т до 3,0 т ільменітового концентрату. Останній кубель дозується з розрахунку вмісту в шихті вуглецевмісного відновника від 8 % до 12% (від 160 кг до 240 кг). Маса шихти в кубелі не повинна бути більше 2,2 т. У разі необхідності завантаження в кубель вуглецевмісної відновника більше 200 кг, маса ільменітового концентрату зменшується на кількість кг, що перевищує 200. Кубеля з шихтою піднімаються електромостовим краном і розвантажуються в пічні бункери .

Вугілля і титанові відходи (лом, титанова стружка, обрізи титану), використовувані на операції доведення шлаку, доставляються на плавильний переділ зі складу сировини в совках за допомогою передавальної рейкової електровізки. Горіла губка доставляється на плавильний ділянку з інших підрозділів комбінату автотранспортом в тарі постачальника. По прибуттю на плавильний переділ горілу губку вивантажують в совок, а транспортну тару після перевантаження забирає постачальник.

Брикети перед використанням потрібно випробувати, щоб вони підходили по всім характеристикам.

Важливо, щоб використовувемі брикети відрізнялися достатньою механічною міцністю. Тому їх піддають механічним випробуванням різних видів. Відповідно проби відбираються для випробування на стиск RC (сж); на стирання; скидання shI (4 кг). Для приготування лабораторних проб використовують залишки брикетів після випробування первинної проби на механічну міцність і ті брикети з проби, які не випробовувалися.

Оброблення первинних товарних проб в лабораторії здійснюють механізованим способом. Лабораторна проба подрібнюється в дробарках до крупності 3 мм, скорочується до отримання необхідного числа лабораторних проб масою не менше 0,5 кг кожна і поміщається в металеві або скляні герметично закриті банки з етикетками.

У лабораторії для судження про якість брикетів визначаються поряд з показником механічної міцності масова частка вологи і сірки, зольність, вихід летючих речовин, теплота згоряння, вологопоглинання, вологостійкість, термічна стійкість. [6]

2.2.3 Короткі характеристики руднотермічної печі

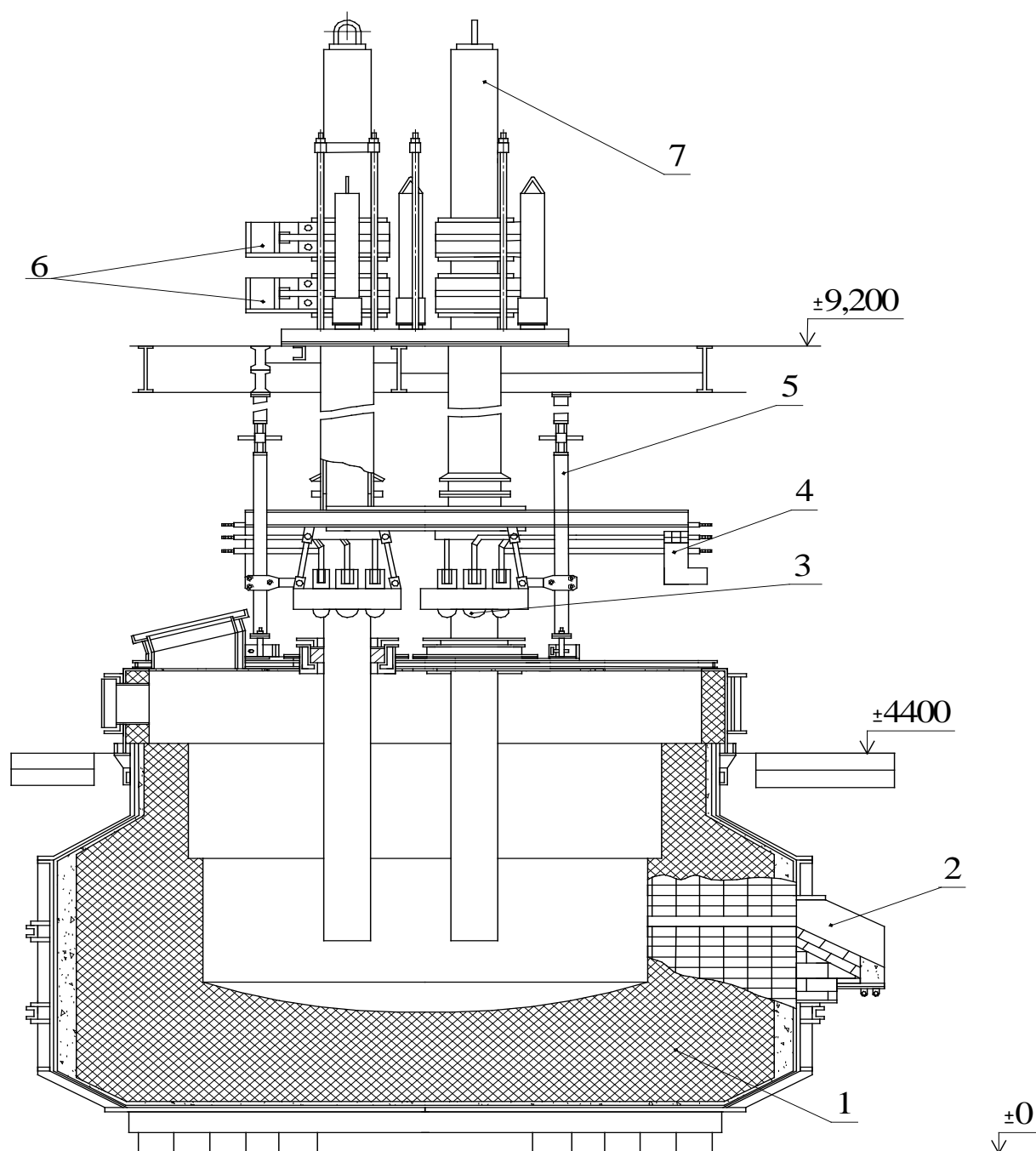
Зважаючи на найбільш стабільний процес плавки перевагу віддають процесу виплавки титанових шлаків в руднотермічних пічах.

Виплавка ведеться в закритій трьохфазній електропечі з круглою ванною, безперервним процесом з періодичними випусками з потужністю пічного трансформатора 5000 КВА.

Основні елементи руднотермічної печі. Ванна печі. Параметри ванни печі і, зокрема, внутрішній діаметр ванни вибирають, виходячи з діаметру електроду та діаметру розпаду електродів. Для печей з ванною, що обертається постійне переміщення вогнищ високої температури щодо поду і стін печі полегшують службу футерування. Зовнішній діаметр печі рівний сумі внутрішнього діаметру і подвоєної товщини футерування, яке визначається потужністю печі і технологічними особливостями процесу.

Глибина ванни печі h визначається залежно від діаметру електроду і щільності струму в ньому, роду сплаву, що виплавляється, і потужності печі. Товщина подини на могутніх печах складає ~ 2 м; таким чином, загальна висота печі H визначається рівнянням $H=h+2$ м. [12]

Руднотермічна піч для виплавки титанових шлаків показана на рисунку 2.2



1 – футерівка; 2 – льотка; 3 – кільце з контактними щокми; 4 – контактні шини; 5 – талреп; 6 – кільця для затиску електродів; 7 – електрод.

Рисунок 2.2 – Руднотермічна піч для виплавки титанових шлаків. [1]

Система охолодження. Для нормальної роботи електродотримача і токопідвода необхідне їх охолодження. На відкритій печі охолоджують струмопровідні труби, контактні щоби, кільця електродотримачаів і поверхні конструкцій, наприклад рукави електродотримача.

На закритих пічах додатково є ланцюги водяного охолодження зведення, завантажувальних воронки і труботічок, водяного затвору і газовідводу. В окремих випадках передбачають також охолодження кожуха печі і футерування.

Для поліпшення охолодження деталей печі, подовження терміну їх служби і скорочення витрати води доцільний перехід системи охолодження печі на хімічно-очищену воду з пристроєм оборотного циклу. [4]

Електроди. Вугільні електроди готуються з пресованого вугілля або коксу спеціального складу. Діаметр електродів від 5 до 30 мм, довжина 200-300 мм, перетин кругле. Кінець електрода заточується „ на конус з кутом 60 - 70°. Для поліпшення властивостей вугільні електроди піддають графітуванню шляхом термічної обробки при температурі близько 2600°.

Графітовані електроди чистіше за своїм хімічним складом, більш м'які, мають сірий з металевим блиском колір. Вони краще вугільних електродів, так як більш електропровідні, менше окислюються на повітрі при високих температурах і тому допускають зварювання при більшій щільності струму. [6]

Зведення печі. Зведення повинне забезпечувати повну герметизацію простору під склепінням, оскільки гази, що утворюються в процесі проведення відновної плавки містять ~85 % CO є високотоксичними, вибухонебезпечними, а також зменшується питома витрата електроенергії та пилевинос з газами. Найбільш широкого поширення набуло металеве десятисекційне водоохолоджуване склепіння, причому дев'ять секцій периферійних, десята центральна.

Склепіння знизу футерують вогнетривким бетоном, а зверху шамотною цеглиною. У зведенні є три отвори для електродів, в які вставляють трисекційні завантажувальні воронки з мідним водоохолоджуваним змійовиком.

В зведенні є два отвори для установки відводів газу до газоочистки, і дев'ять отворів вибухових клапанів. Газовідвід відбору газу приєднується до зведення за допомогою водоохолоджуваного стакана і має усередині форсунки для змиву пилу.

Електродотримач складається з електродного затиску з контактними щоками і несучого циліндра. Він повинен забезпечувати надійність затиску, підвіски і переміщення електроду з необхідною швидкістю, надійність і зручність перепускання електродів, мінімальні втрати електроенергії, забезпечувати належний тепловий режим випалення електродів, що само спікаються.

Електродний затиск складається з кільця, контактних щік і механізму затиску їх. Контактні щоки служать для підведення до електродів робочого струму. Для виготовлення щік застосовують ті матеріали, що володіють високою електро і теплопровідністю: електролітичну мідь, хромисту мідь або томпак, а для забезпечення водяного охолодження, щоки виготовляють порожнистими або із залитими в них мідними, або сталевими трубами. Відомі випадки виготовлення щік з прокатаних мідних плит зі сверленими отворами для водяного охолодження. За допомогою ізолюючих підвісок щоки кріплять до нижнього кільця несучого циліндра.

Пристрій для перепускання електродів. По мірі згорання електроду виникає необхідність перепустити його, тобто подовжувати робочий кінець. Також перепускання електродів здійснюють за допомогою спеціального пристрою без відключення печі.

Електрод разом з верхнім кільцем опускається вниз, прослизавши в щоках. Після цього знов затискають електрод в нижньому кільці і потім розтискають верхнє кільце. Звільнене верхнє кільце гідравлічними домкратами повертається в початкове положення.

Останнім часом поширення набули різні пневматичні пристрої для перепускання електродів. У цих конструкціях затиск електроду здійснюється шляхом нагнітання повітря в гумові балони, шланги і т. п., розташовані між кільцями пристрою для перепускання електродів і електродом, або при постійно

затиснутих пружинами кільцях за допомогою пневматичного пристрою. Наприклад при подачі стислого повітря в шланги проводиться підняття верхнього кільця на величину перепускання.

При цьому долається сила тертя між кільцем і електродом, обумовлена натисненням пружин, а через нижнє кільце електрод проходить під дією власної маси. Перевага таких систем полягає в їх простоті, зручності обслуговування і кращому збереженні геометричної форми кожуха електроду, що сприяє надійнішій роботі електродного затиску.

Пристрої для пропалювання і закладення льотки. В більшості випадків лотку пропалюють електричною дугою, користуючись спеціальним пристосуванням. Апарат підключений до однієї з фаз пічного трансформатора на напругу між фазою і подиной печі. Рідше такий апарат отримує живлення від спеціального трансформатора.

Апарат має ізольовану ручку і його підвішують до консолі, що обертається і прикріплена до колони або кожуха печі. Льотку пропалюють залізним прутом або безпосередньо електродом. Також широко використовують пропалювання за допомогою кисню, а останнім часом практикується оброблення льотки свердленням. Закладання льотки механізоване. Для цієї мети використовують пневмогармати або машини з електромеханічним приводом, які видавлюють масу для закладання льотки безпосередньо в льоточний канал.

Енергетичні характеристики рудовідновних печей. Руднотермічні електропечі – електротехнологічний агрегат, в якому отримується з мережі електроенергія високої напруги (6...220 кВ) передається у ванну електропечі через пічний трансформатор, вторинний струмопідвід і пічні електроди. Крім того, для живлення всіляких механізмів електропечі також витрачаються електроенергія та інші види енергії: стиснене повітря, гідравлічна енергія і т. д.

Як правило, технологічна енергія становить більше 98...99% і при розгляді енергетичних балансів допоміжна енергія не враховується. Втрати технологічної електроенергії розподіляються в процентах та витрачаються на

нагрів відповідних частин токоподвода наступним чином: трансформатор 20...30 %, коротка мережу до щік 40...35 %, електрод до шихти 40...35 %.

Загальний електричний ККД печі $\eta_e = 0,80...0,95$.

В закритих і герметичних електропечах значно збільшуються електричні втрати в електроді і магнітних конструкціях. У найбільш часто вживаному водоохолоджуваному зводі і воронках втрати тепла досягають величини 5...7 %. Тепловий ККД для відкритих печей $\eta_t = 0,9$, для закритих з холодним склепінням $\eta_t = 0,8...0,82$. Таким чином, загальний енергетичний ККД печі (з урахуванням фізичного тепла) $\eta_{заг} = \eta_{епт} = 0,65...0,85$.

Для уточнення енергетичних параметрів рудовідновних печей велике значення має аналіз енергетичного балансу. Зазвичай енергетичний баланс складається одночасно з матеріальним балансом, оскільки при цьому уточнюються дійсні маси потоків всіх матеріалів, що полегшує та підвищує точність даних енергетичного балансу.

У свою чергу велике значення має матеріальний баланс, що дозволяє уточнити витратні коефіцієнти, склади вихідних матеріалів і продуктів, відсоток вилучення провідних елементів з руд і т. д. Для отримання достовірних даних потрібно вибрати час стійкої роботи печі при стабільному складі шихти і мінімальних відхиленнях від нормального режиму експлуатації печі. Дослідження тривали зазвичай не менше місяця, при цьому піч послідовно по кілька днів працювала на різних щаблях вторинної напруги з метою подальшого визначення оптимального ступеня. У проведенні балансових випробувань беруть участь кілька десятків дослідників.

З урахуванням як фізичного тепла, що вводиться в електропіч для здійснення ендотермічних реакцій, так і потенційної енергії відновника тепловий ККД $\eta_{пот} \sim 0,5$. Для печей даного призначення він коливається в межах $\eta_{пот} \sim 0,5...0,7$. Звідси випливає, що необхідно використовувати потенційну енергію газів, що відходять, тобто вторинних енергоресурсів, що, в свою чергу, дозволяє значно збільшити ефективність роботи електропечей. При експлуатації закритих і герметичних рудотермічних печей необхідно

використовувати відхідні гази, наприклад для сушіння шихтових матеріалів і нагрівання води для побутових цілей, у відкритих електропечах потрібно встановлювати низькі парасольки – теплообмінники. [4]

2.2.4 Підготовка руднотермічної печі до плавки

Підготовка РТП до повторних плавок включає: Перевірку стану газоходу і, при необхідності, його чистку. Чищення газоходу проводиться на відключеній печі при відкритому вікні газоходу і розкритих «лючках» заздалегідь підготовленим інструментом. Перевірку стану бічних вікон РТП і при необхідності їх очищення від настилів. Перевірку стану і наявності пилу в циклонах. Пил циклонів автоматично або в ручному режимі перекачують в пічній бункер. Перевірку стану електродів, і при необхідності, їх нарощування. Перевірку стану електродів перед початком плавки виробляють на відключеній печі. На нарощуваний електрод нагвинчують нову секцію через графітовий ніпель. Для цього електроди мають в торцях гнізда з конічною різьбою. Попередньо ніпель і різьблення секцій обдувають повітрям. [19]

Перед включенням РТП електроди повинні бути підняті над залишковим рівнем розплаву у ванні РТП від попередньої плавки, щоб уникнути поштовхів струму і виведення з ладу обладнання при замиканні електродів на розплав. Також потрібно перевірити стан гарнісажу на бічних стінках РТП, що оберігає бічну футеровку печі від руйнувань.

Після огляду ванни печі приймають рішення про обсяг завантаження шихти і кількості задається вуглецевого відновника, а також оцінюють можливу витрату електроенергії на плавку. Якщо об'єм ванни печі зменшений (ванна «заріс»), то витрата електроенергії на плавку може бути збільшений в розмірі від 0,1 МВт·год до 0,3 МВт·год на 1 тонну концентрату, якщо об'єм ванни печі збільшений (ванна «об'ємна»), то витрата електроенергії на плавку може бути зменшений в розмірі від 0,1 МВт·год до 0,3 МВт·год на 1 тонну концентрату.

Аналогічним чином, при «розмитому» гарнісажі печі дозування містять вуглець відновника в шихту збільшують, при «зарослому» гарнісажі печі – зменшують. [19]

Перевірку стану льотки. Якщо льотка коротка і широка, то при завантаженні печі допускається в першій кубель шихти задавати підвищену кількість вуглецевмісної віднови-теля; якщо довга річка – кількість вуглецевмісної відновника в першому кубелі зменшують. Коригування шихти виробляє старший плавильник, з обов'язковим узгодженням з майстром. [4]

2.2.5 Завантаження шихти в РТП

Заповнення пічних бункерів РТП виробляють з кубелів, що переносяться від вузла дозування за допомогою електромостового крана. Максимальне завантаження печі шихтою – не більше 24 т. Електроди повинні бути занурені в шар шихти. Періодично, у міру накопичення, в РТП переробляють магнітні фракції МФ-2, МФ-3, що надходять з переділу підготовки титановмісної шихти УПСШ. Магнітну фракцію МФ-3 завозять на переділ плавки в кубелях і завантажують в РТП через пічні Бункери. Маса завантаження в РТП магнітної фракції МФ-3 повинна становити не більше 1,5 т на плавку. Магнітну фракцію МФ-2 завозять на переділ плавки в совку, призначеному для збору магнітної фракції МФ-2, і з робочої площадки, розташованої на позначці 4,2 м, завантажують у піч через робоче вікно, вручну за допомогою лопати. Подачу фракції МФ-2 виробляють в період завантаження печі після вивантаження в ванну печі першого кубеля шихти з пічного бункера. Маса МФ-2 < 0,5 т.[19]

2.3 Плавка та супутні процеси плавки

Відновну плавку шихти в руднотермічної печі починають при поступовому наборі навантаження до максимально допустимого значення на даній ступені напруги. Управління потужністю проводять вручну.

Після утворення рідкої ванни розплав під кожним електродом, що характеризується відсутністю різких стрибків по струму, піч переводять на автоматичне регулювання сили струму.

Доведення шлаку в РТП полягає в дозованій підзагрузці вуглецевмісної відновника в розплав з метою зниження вмісту FeO до необхідного. При цьому зміст FeO в шлаку контролюють Експрес-аналізом. [4,19]

2.3.1 Відновлювальна плавка в РТП

У перший період плавки відбувається розігрів і проплавлення шихти під кожним електродом. Надалі, у міру збільшення кількості спожитої електроенергії, утворюється загальна ванна розплав. Цей період плавки характеризується глибокою посадкою електродів, закритих зверху спочатку шихтою яка не провалилася, а потім склепінням з спеченою опаленою шихтою. Однак, фактично, електроди працюють з самого початку в дуговому режимі, що зумовлено високою електропровідністю титанового шлаку.

Велика частина енергії, що виділяється відкритою дугою, йде на плавлення завантаженого матеріалу від електродів до стінки і колошнику. В цей період можливо «кипіння» розплав за рахунок бурхливого газоутворення при протіканні відновних процесів або підвищення в'язкості розплав внаслідок утворення великих кількостей нижчих оксидів титану.

Часто проплавлення шихти йде не рівномірно, а з утворенням хрестовини між електродами і «укосами» на стінках ванни. При цьому відбуваються обвали шихти, які викликають «кипіння» розплав. «Кипіння» розплав небажано, так як при цьому збільшується витрата електроенергії на розплавлення частини шлаку, що залишився на стінках ванни після опускання розплав в початкове положення. При сильному «кипінні» можливий вихід розплавленого шлаку на робочий майданчик через бічні вікна. Для запобігання цього з печі знімають струмовий навантаження і на поверхню розплав через бокове вікно закидають

зволожений шлак. Подача струмового навантаження поновлюється після припинення "кипіння" розплаву.

У період розплавлення шихти відбувається інтенсивне відновлення оксидів заліза. До кінця розплавлення всієї маси завантаженої шихти, коли на плавку витрачено приблизно $2/3$ частини від загальної кількості електроенергії, шлак поступово збіднюється оксидами заліза. До закінчення проплавлення всієї завантаженої шихти зміст FeO в розплаві має становити від 10 % до 17 %. Подальше відновлення шлаку до необхідного змісту FeO проводять операцією доведення. [17]

2.3.2 Доведення шлаку в РТП

Орієнтовним показником початку доведення шлаку служить кількість електроенергії, витрачене від початку плавки.

Доведення шлаку з вимогами за змістом FeO починають:

- при витраті електроенергії – від 15 МВт·год до 25 МВт·год;
- при витраті електроенергії – від 13 МВт·год до 23 МВт·год.

Підгрузку відновника в РТП проводять в ручному або в механізованому режимі доведення. В ручному режимі доведення вуглецевмісної відновника виробляється вручну за допомогою лопати через бічні вікна печі.

Порції містять вуглець відновника складають від 30 кг до 70 кг (6 – 14 совкових лопат), а інтервали завантаження визначаються характером кипіння розплаву: кожен наступну порцію вуглецевмісної відновника підгружають після припинення кипіння розплаву від попередньої порції.

Коли вміст FeO в шлаку знижується до 10 % і менше, порції містять вуглець відновника зменшують до 10 кг÷30 кг (2 – 6 совкових лопат), так як можливо бурхливий «кипіння» розплаву через підвищення його в'язкості внаслідок утворення Ti_2O_3 в значних кількостях.

При доведенні в ручному режимі необхідно дотримуватися таких вимог безпеки:

- забороняється перебувати навпроти відкритого робочого вікна;
- доведення виробляти в спецодязі плавильника;
- стежити за відсутністю у відновнику шматків льоду, сторонніх предметів.

У механізованому режимі доведення вуглецевмісний відновник подається механізовано через бункер з живильником при закритих вікнах печі і розрідженні під склепінням печі рівним 0,1 мм вод.ст.

Доведення шлаку виробляють з одного або двох бункерів. У разі використання на доведенні одного бункера порції вуглецевмісного відновника складають від 8 кг до 12 кг (1,5 – 2 обороту живильника). Відновник подають з інтервалом від 1 хв до 1,5 хв, а після зниження вмісту FeO в розплаві до 10 % і менше паузу між завантаженнями за шкалою тимчасового реле збільшують від 1,5 хв до 3 хв в залежності від характеру «кипіння» розплаву.

У разі використання на доведенні двох бункерів відновник подають під кожен з двох електродів (фаза 1 і фаза 3) асинхронно порціями від 5 кг до 8 кг (1,0 – 1,5 обороту живильника) з інтервалом від 0,5 хв до 1,0 хв. При цьому пауза між завантаженнями на кожному живильнику складе (1 - 2) хвилини.

Після зниження вмісту FeO в розплаві до 10 % і менше інтервал завантаження відновника в піч збільшують від 1 хв до 2 хв залежно від характеру «кипіння» розплаву. При цьому пауза між завантаженнями за шкалою тимчасового реле на кожному живильнику встановлюється (2 – 4) хвилини.

Допускається і рекомендується на операції доведення використовувати, при наявності, відходи титану замість вуглецевмісної відновника. Відходи титану подають електромостовим краном у металургійному совку безпосередньо на колошниковий майданчик РТП і завантажують в піч через бічне вікно. Одна тонна титанових відходів замінює 0,5 тонни вуглецевмісної відновника.

Ступінь відновлення шлаку по ходу плавки контролюють експрес-аналізом пруткових проб на вміст FeO.

Пруткові проби відбирають при зніманні електроенергії:

- 15 МВт·год-25 МВт * год;
- 13 МВт·год-23 МВт * год.

Відбір пруткових проб шлаку проводиться при відключеній печі на сухий прогрітий пруток. У разі незадовільного результату аналізу за змістом FeO продовжують доведення шлаку, після чого проводять повторний відбір пруткової проби шлаку для проведення аналізу. При досягненні в шлаку необхідного змісту FeO доводівдновлення розплаву шляхом подачі відновника в розплав і відбір проб припиняють.

При виході плавки на режим і по ходу плавки повинен проводитися періодичний візуальний контроль льотки і футеровки печі біля льотки - не повинно спостерігатися світіння вогнетривкої пробці в льотці. При наявності зазначеної ознаки, льотку необхідно зміцнити вогнетривкою сумішшю. [19]

2.3.3 Прогрів і відстій продуктів плавки в РТП

При досягненні необхідного змісту FeO в шлаку, процес відновної плавки вважається закінченим. Розплав прогривають і відстоюють протягом 30 ÷ 40 хвилин для повного поділу шлаку і попутної продукції карботермічного збагачення ільменітового концентрату. В разі обвалів нерозплавлених шихти з бічних стінок печі під час відстоювання розплаву збільшують тривалість відстою і перевіряють вміст FeO в шлаку. [5]

2.4 Процеси після плавки

Випуск продуктів плавки з РТП виробляють через одну льотку при включеній печі. Прийом продуктів плавки здійснюють в спеціально підготовлені виливниці і шлаковні, встановлені каскадом на візках вузькоколієного шляху. Витяг злитків з виливниць виробляють за допомогою електромостового крана за попередньо встановлені металеві якоря.

Після надходження злитків титанового шлаку на естакаду або склад УПСШ їх витримують, тобто залишають для вилежування. Якість отриманого титанового шлаку контролюють на відповідність результатів хімічного аналізу шлаку вимогам цієї технологічної інструкції, якість титанового шлаку товарного – на відповідність заводських інструкцій. [4,15]

2.4.1 Випуск продуктів плавки з РТП

Випуск продуктів плавки з РТП виробляють через одну льотку при включеній печі. Льотку розкривають за допомогою брукхту шляхом сколювання вогнетривкої пробки до розпеченої частини з подальшим пропаленням пробки киснем. При пропалення льотки киснем виникає залповий викид сантехнічних газів на джерелах тривалістю до 10 хвилин. Пропалювати льотку допускається сухою льотковою трубою без жирових відкладень довжиною не менше 2-х метрів. При пропалення льотки та випуску продуктів плавки, піч продовжує працювати в автоматичному режимі управління, навантаження на електроди не знімається і електроди опускаються разом з рівнем розплаву. Піч відключають після випуску обсягу розплаву до рівня річки.

Перші дві виливниці каскаду призначені для прийому попутної продукції карботермічного збагачення ільменітового концентрату. Вони обладнані бічними льотками і футеровані вогнетривкою цеглою, а поверх футеровки заправляються дрібним титановим шлаком, виплавленим раніше.

Після виливниць в каскаді встановлюють металеві шлаковні для прийому розплаву титанового шлаку. Попередньо днище шлаковень засипають дрібним шлаком. У шлаковню, перед заповненням її шлаком, встановлюють металеву вставку, призначену для вилучення злитка шлаку з шлаковні після його застигання.

Для заправки виливниць і шлаковень використовують дрібний титановий шлак, що утворюється при проведенні операції первинної зчищення злитків попутної продукції карботермічного збагачення ільменітового концентрату або

який обсіпався з поверхні злитків титанового шлаку при їх зберіганні у відсіках продуктів плавки плавильного переділу.

При випуску шлак і попутна продукція карботермічного збагачення концентрату поділяються за питомими вагами в першій і другій футерованих виливницях. Попутна продукція залишається в виливницях, а шлак далі по каскаду перетікає в металеві шлаковні.

Після випуску продуктів плавки рівень залишилася в печі попутної продукції карботермічного збагачення ільменітового концентрату визначають по висоті льотки. Контрольної відміткою для встановлення рівня попутної продукції є мірна планка, закріплена на рівні льотки. Річку закривають вогнетривкої пробкою, виготовленої з суміші містять вуглець відновника і вогнетривкої глини, взятих у співвідношенні 1:5. При наявності в основі льотки продукції карботермічного збагачення ільменітового концентрату виробляють додаткову оброблення льотки киснем і закриття її вогнетривкої пробкою.

Через 30 хвилин після випуску продуктів плавки проводять заміну виливниць каскаду. При транспортуванні візків з попутною продукцією і шлаком обслуговуючий персонал повинен бути віддалений від колії і натяжного троса не менше ніж на 5 метрів.

Через 1 ÷ 1,5 години після випуску з першої виливниці знімають кірку шлаку і в попутну продукцію карботермічного збагачення концентрату вставляють сухі прогріті металеві якоря, необхідні для вилучення злитка відходу з виливниці після затвердіння.

Зняття кірки шлаку виробляють за допомогою електромостового крана із застосуванням спеціальних сухих прогрітих кліщів. Якщо друга виливниця повністю заповнена шлаком, то злиток шлаку витягується не раніше, ніж через 2 години після випуску.

Попутну продукцію карботермічного збагачення ільменітового концентрату у вигляді злитків витягують з виливниць не раніше, ніж через 3-4 години після випуску. Витяг злитків з виливниць виробляють за допомогою електромостового крана за попередньо встановлені металеві якоря.

Злитки складують у відсік плавильного переділу для охолодження. У міру охолодження злитків попутної продукції карботермічного збагачення ільменітового концентрату виробляють первинну очистку поверхні злитка від включень титанового шлаку, який надалі використовують для заправки виливниць і шлаковень.

Злитки титанового шлаку витягують з шлаковень через 3 - 4 години після випуску. Витяг злитків титанового шлаку з шлаковень проводиться в два етапи за допомогою електромостового крана з застосуванням металевих вставок і спеціальних кліщів.

Попередньо злитки піднімають і між злитком і шлаковнею встановлюється металева вставка. Далі, у міру охолодження, злитки витягують з шлаковень і подають у відсік плавильного переділу, де шлак витримується для остигання. Потім злитки титанового шлаку відвантажують на естакаду або склад титанового шлаку. [4, 6]

2.4.2 Витримка титанового шлаку та відвантаження споживачу

Надалі в процесі вилежування злитків титанового шлаку на естакаді або складі УПС відбувається їх декрепітація: розтріскування злитків титанового шлаку від зовнішньої поверхні до самої серцевини. Розсипаємість титанового шлаку обумовлена тим, що при охолодженні шлаку відбувається окиснення нижчих оксидів титану киснем повітря з утворенням діоксиду титану.

Шматки титанового шлаку, які не розсипались розміром більше 200 мм відбирають і подрібнюють механічно за допомогою сталеві «баби» в траншеї складу шлаку УПСШ. З естакади титановий шлак відвантажують стороннім споживачам. Титановий шлак зі складу УПСШ використовується для приготування титановмістній шихті, що йде на виробництво тетрахлориду титану. [4, 9]

2.4.3 Контроль якості титанового шлаку

Контроль якості включає в себе контроль якості чавуну методом спектрального аналізу, та контроль якості титанового шлаку.

Для визначення складу шлаку під час випуску продуктів плавки відбирають проби титанового шлаку. Проби відбирають в «ложку» при переливі розплаву з однієї шлаковні в іншу. Відбір проб виробляє плавильник в присутності контролера відділу технічного контролю (ВТК). Оброблення проб, передачу їх на аналіз і реєстрацію результатів аналізу здійснює ВТК.

Пробу застиглого титанового шлаку плавильник збиває з «ложки» і передає контролеру ВТК, який дробить пробу в лабораторній дробарці, подрібнює в вібростирателі і відмагнічує вручну електромагнітом. Підготовлену пробу титанового шлаку ділять на 2 проби, які упаковують в паперові пакети і реєструють в журналі ВТК із зазначенням номера плавки і дати відбору проби. Одну з проб ВТК передає в хімічну лабораторію № 1 ЦЛК для проведення аналізу на вміст TiO_2 , FeO і MgO .

При задовільному результаті аналізу шлак класифікують як товарний (кондиційним). При незадовільному результаті аналізу титанового шлаку, аналіз проводиться повторно.

Повторну пробу шлаку відбирають шляхом відбивання шматочків титанового шлаку від різних місць злитків шлаку даної плавки. Повторна проба передається ВТК для аналізу в хімічну лабораторію № 1 ЦЛК в подвійній кількості. При невідповідності результатів аналізу повторної проби вимогам цієї технологічної інструкції до якості титанового шлаку, шлак бракують, класифікують як «невідповідна продукція» і ізолюють від товарного (кондиційного) титанового шлаку.

Бракований шлак використовують як заправний матеріал для футерованих виливниць і шлаковень. Ємністю для зберігання титанового шлаку до отримання результатів хімічного аналізу служить траншея плавильної дільниці.

Другу пробу титанового шлаку зберігають в ОТК до кінця поточного місяця і використовують для приготування середньомісячної проби титанового шлаку. Для отримання середньомісячної проби змішують проби від усіх плавок титанового шлаку поточного місяця і потім відбирають пробу, яка є середньомісячною. Середньомісячну пробу титанового шлаку відділ технічного контролю передає в спектральну лабораторію ЦЛК для проведення спектрального аналізу на повний склад домішок.

Кожній плавці титанового шлаку присвоюють номер. Якість титанового шлаку ВТК засвідчує накладної. [16]

Для чавунів використовують метод спектрального аналізу. Особливості спектрального аналізу чавунів. Сплави титану містять різні домішки. До постійних відносять кремній, марганець, сірку і фосфор. До легуючих-нікель, хром, мідь, та інші.

Для визначення вуглецю в чавунах, використовують кулонометричний, газооб'ємний або інфрачерво-абсорбційні методи. Застосування зазначених методів вимагає використання додаткової дорогої апаратури, кваліфікованих фахівців і часу. Це здорожує аналіз і робить його неекспресним.

Однак, експрес-аналіз елементного складу чавуну по ходу плавки є найважливішим завданням. Вуглець в чавуні може перебувати в різних формах і станах. Це визначає структуру сплаву, а значить і його властивості. Вуглець в чавунах може перебувати у вільному (графіт) і пов'язаному (цементит) станах.

Швидкість охолодження (кристалізації) виливки є основним фактором при отриманні чавуну з тією чи іншою структурою. Чим нижче швидкість охолодження, тим більше вуглецю, при інших рівних умовах, може виділитися у вільному вигляді (графіт).

Стан вуглецю, з точки зору спектрального аналізу, можна розділити на дві основні групи. Це пов'язане стан вуглецю у вигляді цементиту (Fe_3C), або вільний стан вуглецю у вигляді графіту. В останньому стані графіт в різних формах розташовується на кордонах зерна, визначаючи механічні та інші властивості чавуну. [17]

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Одним з етапів виробництва титану є плавка титанових концентратів у руднотермічній печі при якому отримується титановий шлак та чавун. До титанового шлаку пред'являються вимоги по вмісту домішок, які при подальшому хлоруванні будуть забруднювати тетрахлорид титану. Також при плавці титанового концентрату з відновником втрачається їх певна кількість з газами, що відходять з печі. Одним із способів вирішення цього питання є окускування титановмісної шихти перед плавкою.

Титан являється одним з основних конструкційних матеріалів, який займає широке застосування в техніці. Немає жодного іншого металу, виробництво якого отримало б останнім часом настільки бурхливий розвиток. Такий великий інтерес до титану пояснюється унікальним поєднанням в ньому фізико-механічних властивостей і значними запасами в земній корі. Тому дуже важливо отримувати чистий титан з вмістом не менше 90% TiO_2 .

Титанових шлак та металевий напівпродукт з ільменітового концентрату, можна отримати, якщо до складу брикетів або окатишів із зволожуючим розчином ввести сполуки бору, але це призводить до забруднення титанового шлаку та зниженню його якості.[6]

Також титанові шлаки з ільменітових концентратів можна отримати виплавою в руднотермічній печі та з метою спрощення технологічних схем, вихідні концентрати, нагріті до $1500^{\circ}C$, продувати природним газом, та таке газотермічне відновлення призводить до значного подорожчання процесу. [11]

За основу є спосіб переробки ільменітових концентратів в руднотермічній електропечі, описана двухстадійна плавка титанових концентратів. [4]

В якому якості шихтових матеріалів при виплавці використовують лемненський і самотканський ільменітові концентрати, що містять 50,5...64,0 % TiO_2 , 0,2...4,3 % FeO і 26,5...28,7 % Fe_2O_3 і чорногорське кам'яне вугілля, що містить вуглецю 55,7 % і сірки 0,3 %. Шихта перед виготовленням окатишів подрібнюється до розміру часток 74 мкм (0,074 мм), зволожується розчином

поверхнево-активної речовини, вологість перед окомкуванням 5 %, витрата сполучного 4...5 %. Металізацію окатишів виробляють в трубчастій печі при температурі 1100 °С, при цьому ступінь металізації становить 44,7...90,5 %, а плавку здійснюють у 10 т сталеплавильній електропечі з завантаженням гарячої шихти на укуси печі. Плавку ведуть при температурі 1650...1700 °С. Вміст TiO_2 в титанових шлаках становить 78,8...87,5 %. Основним недоліком наведеного способу є те, що за цим способом не можна виробляти титанові шлаки з вмістом TiO_2 понад 90 %.

3.1 Аналіз відновної плавки в руднотермічних печах

Це процес металургійного збагачення. Відділення від продукту титану заліза. При проплавленні в РТП шихта, що складається з концентрату і твердого відновника, проходить через відновлення оксидів заліза до металу, а титан залишається в окисленій формі внаслідок великої спорідненості до O_2 і переходить в шлак.

В ході відновної реакції утворюється 2 продукту:

- титановий шлак, в який з оксидами титану, переходять оксиди інших металів: CaO , Al_2O_3 , MgO - повністю і MnO , SiO_2 , Cr_2O_3 , V_2O_5 , C - частково.

-попутний метал, складом: 88 % Fe; 0,5 ... 3,5 % C; 0,01 ... 0,1 % Ti; 0,1 % Mn; 0,25 % Si; 0,5 % Cr; 0,5 % P; 0,1 % S. Відновну плавку ведуть в трьохфазних електродугових печах, потужністю 5 МВт

Температура плавлення титанового шлаку значно вище температури плавлення титановмісного концентрату. Отже, для забезпечення процесу відновлення і утримання високотемпературного розплаву в рідкому стані необхідна значна густина теплової енергії.

У міру накопичення в розплаві нижчих оксидів титану збільшується температура плавлення, в'язкість і електропровідність у міру збільшення електропровідності розплаву піч переходить на роботу електродів в дуговому режимі. Титанові шлаки характеризуються високою агресивністю,

обумовленою підвищеною концентрацією діоксиду титану і нижчих оксидів титану. Отже, для збереження футерування печі від швидкого розчинення, на стінках ванни спеціально нарощують гарнісаж особливого тугоплавкого шлаку.

При обвалах шихти з верхніх ділянок колошника печі відбувається кипіння шлаку. Шихта, потрапивши в високотемпературний розплав шлаку, швидко прогрівається і починається бурхливий процес відновлення оксиду заліза до металу. Виділяється при цьому реакційні газу спучують розплав шлаку. Шлак скипає, збільшується в об'ємі і піднімається до колошника печі, а іноді і заливає його. Після припинення кипіння шлак повертається в початкове положення. Кипіння шлаку спостерігається також при подачі відновника в ванну печі в період довідновлення розплаву.

Відновлювальна плавка в РТП здійснюється періодичним процесом в напівзакритому режимі роботи печі. Ванна печі вкрита водоохолоджуваним склепінням. Колошник печі обладнаний спеціальними вікнами для нагляду за ходом процесу і подачею відновника на довідновлення розплаву. Колошникові газу видаляють з печі примусовою тягою за допомогою вентиляторів гарячого дуття, і піддається сухому чищенню від пилу в спеціальній газоочистці.

Процес плавки в РТП відбувається в напівзакритому режимі і включає в себе наступні основні операції:

- перепуск і нарощування графітових електродів;
- завантаження шихти в ванну печі;
- відновлювальна плавка;
- випуск продуктів плавки.

Мета нарощування і перепуск графітових електродів полягає в тому, що в процесі плавки електроди згорають, отже, необхідно нарощувати їх зверху. Ця операція проводиться на величину від 300 до 1000 мм один раз протягом плавки після знімання електроенергії не більше 80 %. Перепуск електродів здійснюється' спільною роботою затискних кілець і опускання електрода.

Нарощування електродів проводиться в простій і тільки на відключеній печі. Нарощування секцій електродів проводиться, якщо електрод,

перебуваючи в крайньому положенні, виступає над перекриттям позначки "+21,0 м" не менше ніж на 150 мм або перебуваючи в крайньому нижньому положенні, верхнє затискне кільце охоплює верхній кінець електрода на довжину не менше 200 мм. Для перевезення секцій електродів служить спеціальна траверса номінальною вантажопідйомністю 2 т.

Завантаження концентрату і відновника здійснюється невеликими порціями. Завантаження повинна проводитися тільки на застиглу кірку шлаку, в разі її відсутності на дзеркало попутними металами малими порціями.

Вид переробки концентрату з підвищеним вмістом вологи (масова частка води не більше 7 %). Спочатку подається шихта (вода не більше 2 %). Потім подається суміш вологої і сухої шихти.

Довідновлення розплаву полягає в доведенні значення масової частки оксиду заліза в розплаві не більше 7 % шляхом подачі на рідку ванну відновника (вугілля). Після закінчення процесу довідновлення шлаку розплав відстоюється протягом 20...30 хвилин з метою поділу шлаку і попутного металу. При завершенні виробляють випуск продуктів плавки.

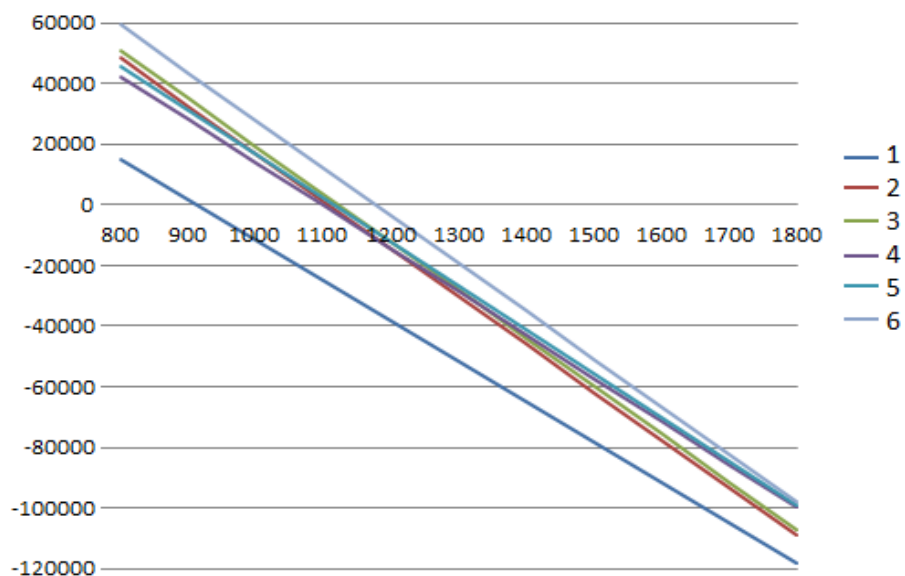
Випуск титанових шлаків проводиться через одну лютку в каскадно встановленої виливниці. Поділ шлаку і попутного металу засноване на різниці значень щільності розплавлених титанового шлаку і попутного металу. Після охолодження злитки шлаку за допомогою мостових кранів 20 т і кліщів витягають з виливниць і вантажаться в вагони типу "думпкар", або за допомогою злитковоза перевозяться на склад гарячого шлаку.

Попутний метал і титановий шлак після виходу з печі поділяються по щільності в першій виливниці. Попутний метал важче титанового шлаку, тому він збирається внизу першої виливниці і через бічний носок по зливному жолобу надходить в піщані форми. Частина попутного металу при цьому залишається в першій виливниці під шаром шлаку. Злитки попутного металу з перших виливниць після охолодження складуються в відсік-копер. Попутний метал з піщаних форм, після його охолодження витягають з піщаних форм за допомогою мостового крана і перевозять в окремий відсік-копер. По мірі

накопичення попутного металу замовляється напіввагон і проводиться відвантаження попутного металу для відправки споживачеві. Одержуваний титановий шлак містить 85...90 % TiO_2 , 3...5 % FeO , 2...4 % SiO_2 , 0,5...1 % CaO , 2...4 % Al_2O_3 , решта MgO , MnO , V_2O_5 , Cr_2O_3 . Витяг титану в титановий шлак становить 96...97%. Титановий шлак вважається титановим напівпродуктом. [9]

3.2 Термодинаміка процесу відновлення титану

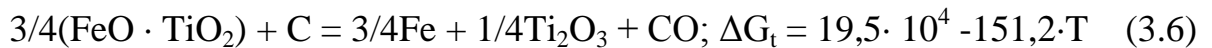
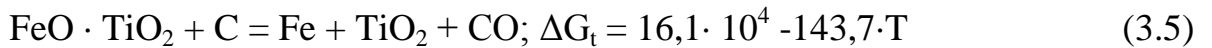
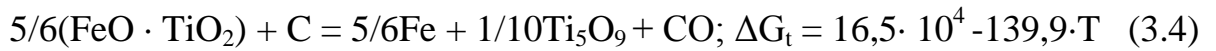
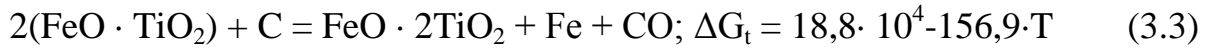
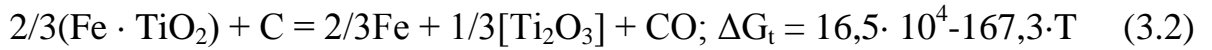
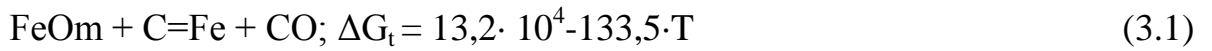
Характерною особливістю процесу відновлення титану твердим вуглецем є зростання температури початкового утворення шлаку по мірі відновлення шихти, що відрізняє цей процес від відновлення руд заліза, для яких характерне падіння температури по мірі зростання ступеня відновлення заліза. Підвищення температури початкового шлакоутворення в міру зростання ступеня відновлення титанів твердим вуглецем створює сприятливі умови для відновлення шихти у всьому її обсязі на твердій стадії процесу.



- 1 - $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$; 2 - $\frac{2}{3}(\text{Fe} \cdot \text{TiO}_2) + \text{C} = \frac{2}{3}\text{Fe} + \frac{1}{3}[\text{Ti}_2\text{O}_3] + \text{CO}$;
 3 - $2(\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2) + \text{C} = \text{FeO} \cdot 2\text{TiO}_2 + \text{Fe} + \text{CO}$;
 4 - $\frac{5}{6}(\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2) + \text{C} = \frac{5}{6}\text{Fe} + \frac{1}{10}\text{Ti}_5\text{O}_9 + \text{CO}$; 5 - $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 + \text{C} = \text{Fe} + \text{TiO}_2 + \text{CO}$;
 6 - $\frac{3}{4}(\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2) + \text{C} = \frac{3}{4}\text{Fe} + \frac{1}{4}\text{Ti}_2\text{O}_3 + \text{CO}$.

Рисунок 3.1 – Графік температурної залежності зміни енергії Гіббса

На малюнку приведена температурна залежність зміни енергії Гіббса реакції відновлення оксидів заліза і титану твердим вуглецем:



Виходячи з наведеної на рис залежності та діаграми стану системи Fe—TiO₂, а також базуючись на розробленому А. А. Байковим для оксидів заліза принципі послідовності перетворень, відновлення ільменіту твердим вуглецем протікає наступним чином: FeO·TiO₂—FeO·2TiO₂—TiO₂—Ti₅O₉—Ti₃O₅—Ti₂O₃—TiO.

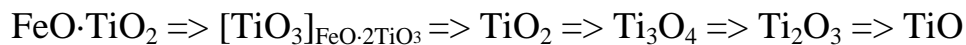
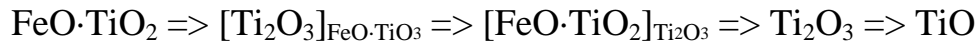
Проте зазначений хімізм процесу не враховує важливої ролі структурного фактору, під впливом якого може змінюватися характер і послідовність зазначених реакцій.

Як зазначалося вище, в окисно-відновних умовах процесу відновлення існують і утворюються титанати і нижчі оксиди титану з однаковою або близькою кристалічною решіткою. Так, FeO·TiO₂, MgO·TiO₂, MnO·TiO₂, Ti₂O₃ мають ромбоедричну, FeO·2TiO₂, MnO·2TiO₂, MgO·2TiO₂, Fe₂O₃·TiO₂ і Cr₂O₃·TiO₂ — орторомбічну, а MgO·Ti₂O₃, 2(Mg, Fe)O·TiO₂, TiO, TiC — кубічну решітку.

Подібність кристалічних решіток може полегшити розвиток процесів, що протікають з утворенням продуктів, що не вимагають перебудови кристалічної решітки. Наприклад цей фактор полегшує відновлення FeO·TiO₂ до Ti₂O₃, так як при цьому не виникає фаза з іншою кристалічною решіткою, на освіту якої необхідно затратити додаткову енергію. Навпаки через утворення нової

кристалічної решітки при відновленні ільменіту, що входить до складу твердого розчину на основі Ti_2O_3 , відновлення FeO може.

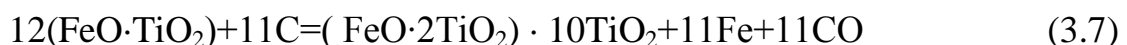
Таким чином, в слідстві фактора подібності кристалічних решіток має місце інша, ніж зазначено вище, послідовність процесу відновлення $FeO \cdot TiO_2$:



Тобто вже на перших етапах відновлення завдяки сприятливому структурного фактору можливе утворення нижчих оксидів титану і твердих розчинів на їх основі і, отже, спільна присутність FeO і нижчих оксидів титану при високій температурі в відновній середовищі.

Рентгеноструктурний аналіз продуктів відновлення ільменіту при надлишку відновника показав, що в умовах протікання процесу на твердій стадії, починаючи з $1000^\circ C$, що утворилися продуктах виявляється тагировит. При стехіометричному ж змісті відновника виникнення Ti_2O_3 не спостерігається до $1100^\circ C$, а при температурі вище $1100^\circ C$ в основному утворюється $FeO \cdot 2TiO_2$.

Враховуючи, що $FeO \cdot 2TiO_2$ може розчиняти до 10 молей TiO_2 , процес відновлення ільменіту твердим вуглецем при температурі вище $1100^\circ C$ може бути представлений наступним сумарним рівнянням:



Таким чином, вже на твердій стадії процесу утворюється шлакова фаза аносовита, що містить мінімальну кількість FeO і незначна кількість Ti_2O_3 .

При відновленні ільменіту на стадії розплаву інтенсивно протікає процес відновлення TiO_2 до Ti_2O_3 з переважним утворенням тагировита. Мінералогічний аналіз шлаку свідчить про те, що в цих умовах відновлення яке містить ільменіт FeO утруднене і помітний розвиток отримує відновлення TiO_2 до нижчих оксидів. Це призводить до збагачення розплаву оксиду двовалентного заліза і співіснування його разом з нижчими оксидами титану.

Потім $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ відновлюється до $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ і $\text{FeO}\cdot 2\text{TiO}_2$, що призводить до збільшення тривалості процесу, витрати відновника і електроенергії.

Відновлення ільменіту в розплаві протікає в більш важких умовах, зростання розшаруванням розплаву і твердого відновника, а також кипінням високо-електропровідного розплаву. Це призводить до відключення печі і до нестабільної її роботи, що особливо ускладнює процес плавки з зростанням потужності електропідного агрегату.

Таким чином, при відновленні ільменіту на стадії розплаву утворюються в основному тверді розчини ряду тагіровита, що вимагають для відновлення міститься в них FeO і стабілізації шлаків з мінімальним вмістом заліза додаткових витрат часу, електроенергії і відновника.

На основі викладеного зроблено висновок про доцільність створення умов для переважного відновлення ільменіту на твердій стадії процесу, тобто до утворення шлакового розплаву. З цією метою запропоновано, зокрема, проводити процес відновлення в дві стадії: на першій стадії (до $1250\text{ }^\circ\text{C}$) — в обертовій печі або печі киплячого шару і на другій стадії — в електропечі або в умовах безперервної руднотермічної плавки. [4]

3.3 Аналіз методів окускування руд

Сучасні технології виробництва титану включають в себе окислювально-відновні процеси залізовмісної сировини і легуючих елементів з застосуванням в якості основного енергоносія та відновника металургійного кам'яновугільного коксу у відповідних теплових агрегатах (печах).

Багата титановмісна сировина являє собою дрібну фракцію і ведення металургійних процесів в печах вимагає їх окускування для забезпечення достатньої газопроникності.

Окускування є одним з актуальних завдань у підготовці титанвмістних матеріалів до металургійного переділу. Відомі три способи окускування

дрібних руд і концентратів: агломерація, грануляція (окомкування) і брикетування.

Агломерація - процес отримання шматків (агломерату) методом спікання дрібної руди і концентрату з паливом при високій температурі горіння. Завдяки високій температурі в процесі агломерації виганяється частина шкідливих домішок (наприклад, сірка).

Грануляція (окомкування) - процес отримання окатишів, заснований на властивості зволжених тонко-подрібнених частинок руди або концентрату утворювати окатиш більшої чи меншої крупності і міцності, який окатують в спеціальних апаратах, в яких надається необхідний розмір і форма, подальшим випаленням - підвищена міцність.

Брикетування - процес отримання шматків (брикетів) з добавкою і без добавки сполучних речовин з подальшим пресуванням суміші в брикети потрібного розміру і форми. [20]

3.3.1 Агломерація

Метою агломерації є не тільки окускування руди, але і введення флюсу, видалення сірки для поліпшення металургійних властивостей сировини.

Агломерацією називається процес окускування рудної дрібниці концентратів і колошникового пилу шляхом спікання. Найбільш продуктивним методом агломерації є спікання з просмоктуванням повітря.

Агломерація є найбільш поширеним процесом окускування залізних руд. Сутність процесу агломерації полягає в наступному. Подрібнені рудний концентрат титану ретельно змішують з колошниковим пилом, дрібним коксиком і вапняком, зволожують і завантажують у спікаючий апарат шаром 200...350 мм. Потім за допомогою інтенсивного джерела підпалюють паливо, що знаходиться в шарі шихти. Через шар шихти ексаустером, розташованим під агломераційним пристроєм, просмоктується повітря. Горіння, розпочавшись

у верхньому шарі шихти, поступово поширюється на всю товщину і закінчується у колосникової решітки апарату.

При згорянні палива температура досягає 1400 °С; цього достатньо для часткового сплавлення шматочків шихти і спікання їх між собою. Після закінчення процесу горіння весь шар шихти являє собою пористий, ніздрюватий кусковий продукт. Для СО-зберігання колосникової решітки на решітку укладають шар повернення агломерату крупністю ~25 мм.

Для процесу спікання (агломерації) характерно наступне:

- 1) паливо згорає без полум'я;
- 2) повітря, що надходить для горіння проходить через шар розпеченого коксу і, охолоджуючи його, нагрівається до температури, близької до температури агломерату;
- 3) тепло від газів до шихти передається завдяки поверхні контакту.

Процеси спікання можна розділити на кілька стадій:

1. Підготовчий. Після займання палива на поверхні шару шихти гарячі гази проходять через холодний шар шихти вниз і віддають їй своє тепло. У міру опускання вниз зони спікання кількість вологи в нижніх шарах шихти збільшується.

Верхні шари все більш підсушуються, нагріваються газами і теплом, що надходять від наближення зони спікання, до температури займання палива.

2. Стадія згорання. Паливо запалюється, частково відновлюються оксиди заліза, утворюються рідкі фази, що оплавляють окремі тверді частинки залізної руди.

3. Стадія охолодження. Паливо в шарі згоріло, шматки руди зварилися, спеклися за допомогою легких рідкої фази. Спечений матеріал охолоджується холодним повітрям, що надходить зверху.

Успішному видаленню сірки сприяють: хороша газопроникність шихти, знижена витрата палива, більш тонкий шар спікається шихти, достатнє подрібнення руд, підвищення вмісту заліза і зниження кількості

шлакоутворюючих у вихідній руді. Фосфор при агломерації не видаляється. Миш'як видаляється на 20 %.

Підготовка шихти для агломерації. Основне завдання при підготовці шихти полягає у виборі оптимальних значень крупності матеріалів і ступеня зволоження, необхідних для створення гарної газопроникності шихти. Це забезпечує виробництво пористого і міцного агломерату. При поганій газопроникності кількість повітря, що надходить в зону згоряння, стає недостатнім, що почалося горіння йде мляво і навіть може зовсім припинитися. Тепла, що виділяється буде недостатньо для утворення рідкої фази і агломерат не утворюється.

Велика кількість дрібної фракції зменшує проходи для газів; чим більше великих шматків, тим проходи між зернами стають ширшими і газопроникність шихти поліпшується. На газопроникність впливає і кількість вологи.

Пристрій агломераційних машин. Спікання агломерату проводиться на стрічкових машинах. Схема машини представлена на рисунку 3.2.

Основна частина машини — нескінченна стрічка, складена з візків-палет. На машині встановлено 130 візків.

Палет — ящик на роликах з двома бортами по краях і дном у вигляді колосникових ґрат, що рухаються по рейках.

Рух палет відбувається за допомогою пари ведучих зубчастих коліс, які захоплюють своїми зубами палету знизу, виштовхують її наверх і штовхають до тих пір, поки зуби коліс залишаються зчепленими з роликами палети. При цьому кожна попередня палета штовхає подальшу. Швидкість руху палет становить від 3,2 до 8,0 м/хв.

Рух зубчастих коліс створює тиск однієї палети на іншу, що усуває виникнення зазору між палетами. В розвантажувальній частині машини ролики палети переходять на нижній рейковий шлях і візок котиться до зубчастим колесом під дією власної ваги під ухил.

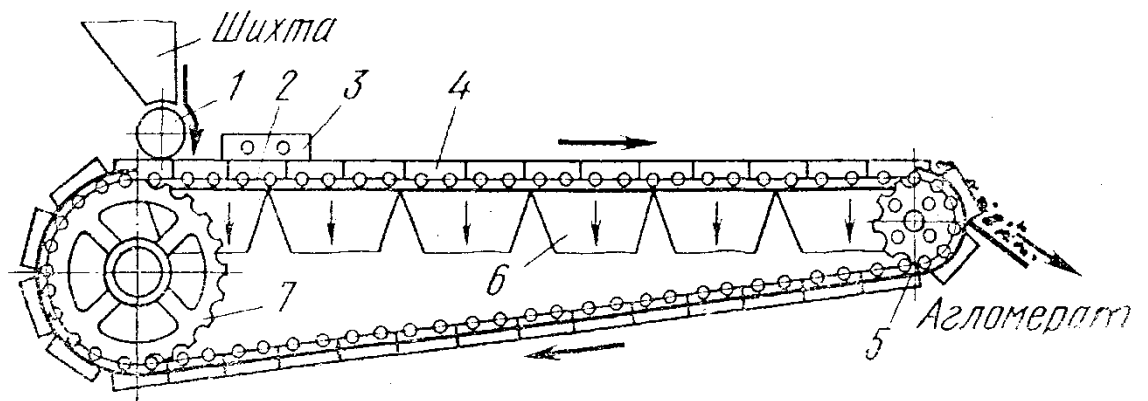


Рисунок 3.2 Схема агломераційної машини:

1 - барабанный живильник шихти; 2 – направляючі рейки; 3 - запальний горн; 4 - палети; 5 – направляюче колесо; 6 - вакуум-камери; 7 – приводне колесо. [23]

3.3.2 Окомкування шихти

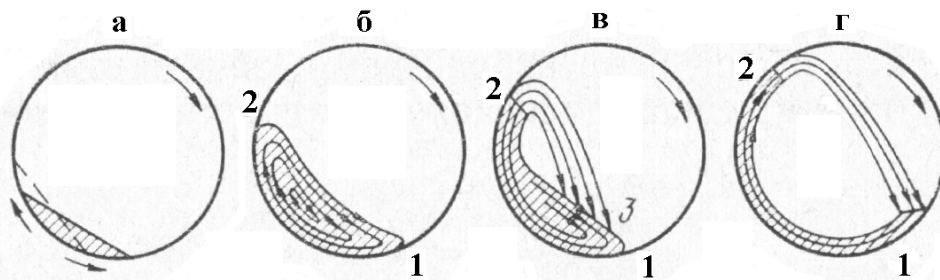
В основі процесів змішування і окатування лежить взаємне переміщення частинок в об'ємі шихти, тому результати обох процесів, крім властивостей сипкого матеріалу, будуть визначатися режимами роботи апаратів-змішувачів і окомкувателів. Операції окатування шихти виконують за допомогою обертових барабанів, прості по пристрою і в експлуатації, що володіють досить високою продуктивністю.

Закономірності руху матеріалу в обертовому барабані. Загальна схема руху сипучого матеріалу в обертових барабані працюють у безперервному режимі, може бути представлена наступним разом. Сипучий матеріал піднімається на деяку висоту і потім під дією ваги падає вниз.

Завдяки наявності різниці рівнів матеріалу на кінцях барабана, падаюча шихта одночасно переміщується на деяку відстань уздовж його осі – до розвантажувального кінця.

Кожен об'єм шихти робить безліч подібних циклів і після закінчення певного часу від моменту завантаження виходить з барабана, пройшовши в ньому операцію окомкування.

З різних типів руху сипучого матеріалу в поперечному перерізі обертових барабанів (рисунок 3.3) найбільший інтерес для технологів фабрик окускування представляє рух матеріалу в режимі перекаату (б) і водоспадному (в).



а-човниковий; б-перекаату; в-водоспадний; г-циклічний

Рисунок 3.3 – Режими руху сипучого матеріалу в поперечному перерізі барабана [21]

Режим перекаату виникає в барабанах з шорсткою внутрішньою поверхнею, що обертаються з відносно невисокою швидкістю. Як тільки нахил поверхні завантаження перевищить кут природного укосу, надлишок матеріалу почне зсипатися вниз, прагнучи відновити первинний кут природного укосу.

Але на місце зсипалася піднімається нова порція матеріалу і цикл повторюється. При цьому центр ваги завантаження залишається на одному місці, а навколо нього обертається завантажений матеріал - у стінки барабана він піднімається вгору, а по вільній поверхні, розташованій ближче до осі обертання, зсипається вниз. В такому режимі матеріал як би перекочується по внутрішній поверхні барабана, одночасно «обертаючись» навколо своєрідного центру. Водоспадний режим, виникає при більш високих швидкостях обертання. Крім швидкості обертання барабана, що надає вирішальний вплив, значення має також ступінь його заповнення.

При малому ступені заповнення (близько 5 %) водоспадний режим, як правило, не виникає.

Завданням окомкування є створення гранул (грудок) шихти досить великого діаметру у вузькому інтервалі крупності.

Для окомкування шихти в основному використовуються барабани. Найбільш доцільним режимом роботи барабана є режим перекату. Такий режим досягається при окружній швидкості барабана $0,7...0,8$ м/с. В режимі перекату забезпечується скочування легких вологих гранул по похилій поверхні сухого матеріалу.

Верхня межа розмірів гранул визначається процесами горіння: воно сильно сповільнюється, якщо частка палива знаходиться у великій гранулі. Зменшення розмірів гранул знижує газопроникність шихти, тобто також уповільнює процеси горіння. Сутність процесу огрудкування полягає у фізико-хімічній взаємодії твердих частинок шихти і рідини, що вводиться в шихту.

Розрізняють такі механізми окомкування: капілярний, що пояснюється дією поверхневого натягу зволожуючої рідини, і клейовий, або цементаційний, що пояснюється дією молекулярних сил при введенні колоїдних речовин, клеїв. Згідно капілярної теорії окомкування, при взаємодії твердих частинок шихти і зволожуючої рідини виникають капілярні сили, стягують частинки.

Схематично цей процес представлений на малюнок 3.4, а.

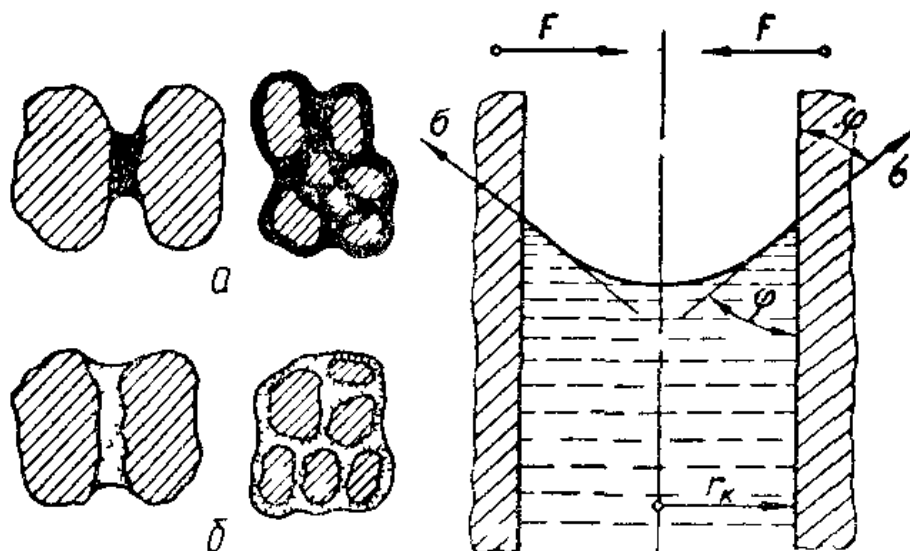


Рисунок 3.4 – Схеми окомкування часток агломераційної шихти за рахунок капілярних сил (а) та при добавці клейких речовин (б)

Великий вплив на процес окомкування надає кількість води, тобто вологість шихти. Існує оптимальна вологість, при якій окомкування протікає найбільш інтенсивно.

Таким чином, для поліпшення процесу окомкування необхідно: а) застосовувати матеріали, що добре змочувані водою; б) вводити до складу шихти тонкоподрібнений матеріали; в) створювати в окомкувальному пристрої оптимальну вологість; г) вводити в шихту колоїдні добавки або застосовувати руди з глинистої порожньою породою; д) збільшувати довжину барабана. [22]

3.3.3 Брикетування

Металургічні брикети повинні відповідати наступним вимогам:

- тимчасовий опір брикету на роздавлювання має бути не нижче 50 кг/см^2 ;
- брикети повинні бути водостійкі. Тимчасовий опір на роздавлювання після годинного перебування брикету у воді не повинно знижуватися більш ніж на 15 %. Мокрий брикет не повинен руйнуватися під дією морозу;
- брикети повинні бути стійкі в атмосфері перегрітої пари;
- брикети не повинні втрачати своєї міцності при нагріванні до $900 \text{ }^\circ\text{C}$;

З точки зору технології та економіки виробництва брикетування має ряд переваг в порівнянні з агломерацією або грануляцією:

- брикети мають однакоvu правильну форму і вагу, в даному обсязі містять більше металу, вони мають більш високу міцність і кращою транспортабельністю;
- мають більш високу питому вагу;
- кількість оборотного продукту на агломераційної фабриці становить близько 25 %, а іноді і вище від загального потоку шихти, в той час як на брикетної фабрики - не більше 2 %;
- весь кисень руди в брикеті залишається активним, в агломераті ж він знаходиться в зв'язаному стані;

- екологічна безпека брикетів (безвідходність, відсутність високих температур при виготовленні);
- можливість застосування в брикеті в будь-якому співвідношенні вуглецевмісної наповнювача для активізації процесів у металургійній печі;
- тільки брикетування, через особливості свого технологічного циклу, здатне повернути відходи в металургійний переділ, з досить високою рентабельністю, поліпшити екологію. [21]

3.3.4 Дослідження процесу плавки шихти з різними окушкованими рудами

При дослідженні процесу плавки з окатишами були відмічені наступні металургійні властивості окатишів:

- наявність максимально можливого з'єднання заліза;
- мінімальне з'єднання оксиду кремнію;
- мінімальне з'єднання шкідливих домішок;
- забезпечують оптимальні газодинамічні умови роботи печі;
- здатність витримати, не руйнуючись, значну кількість перевантажень;

Також окатиші мало руйнуються в ході залізничних або морських перевезень. Їх можна зберігати тривалий час при різних атмосферних умовах, зберігаючи при цьому необхідні міцнісні властивості.

В ході плавки було виявлено, що окатиші сильно руйнуються, чим збільшують вміст пилу в атмосфері печі, що призводить до втрат концентратів з пиловиносом.

Вони мають ряд серйозних недоліків в порівнянні з агломератом і брикетами:

- окатиші неможливо отримувати з відносно грубих концентратів, а додаткове подрібнення до необхідної крупності значно здорожує концентрат;
- окатиші сильніше агломерату і брикетів руйнувалися в ході відновних процесів;

- надзвичайно важко технологічно отримувати окатиші підвищеної основності;

- при роботі печей тільки на окатишах виникають певні труднощі через погіршення газопроникності шару і розвитку процесів шлакоутворення, тому використовують суміш агломерату та окатишів.

Головним достоїнством агломерації при дослідженні виявилася універсальність - процес спікання йде досить успішно з використанням рудних матеріалів в широкому діапазоні по крупності; допускаються деякі відхилення від оптимальних параметрів за вологості шихти, вмісту в ній твердого палива та ін. Але навіть з перевагою перед окатишами, агломерати втрачають при спіканні багато корисних для виробництва титану речовин, мають дуже багато пилу, що призводить до повторного спікання.

До основних недоліків брикетування в процесі дослідження відведені наступні:

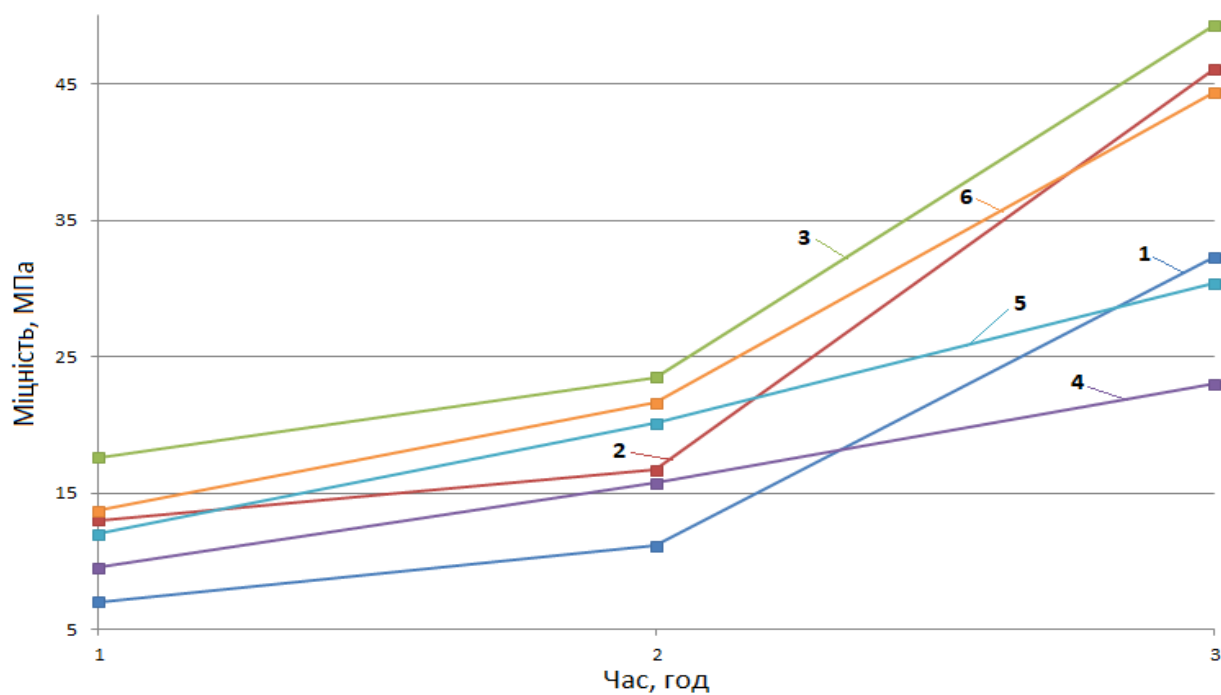
- недостатня міцність брикетів, особливо при високих температурах і в умовах відновної атмосфери, на відміну від того ж агломерату;

- висока вартість якісних сполучних речовин і як наслідок використання малякисних зв'язуючих компонентів, що не дають потрібні клейкі властивості;

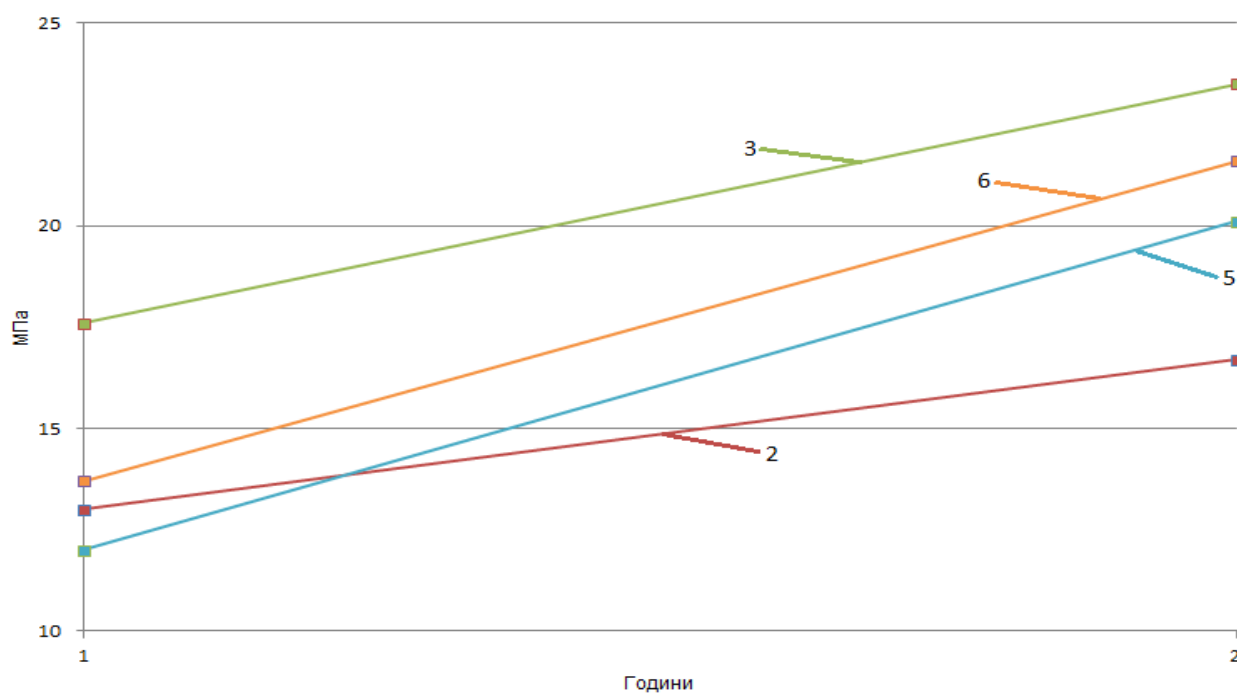
- недостатня продуктивність пресового обладнання.

Також було проведено випробування на міцність окатишів та брикетів. В однакових умовах були виготовлені партії окатишів та брикетів. Окатиші розміром від 10 до 20 мм були правильної форми, мали задовільну для випробування міцність. Брикети також відповідали задовільній міцності, та були розміром 55 мм. Партії окускованної шихти для зменшення вологи та збільшення міцності піддавали сушці. Далі просушені окатиші та брикети піддавали прокалці в печі при температурах 500, 600 і 700 °С протягом 1, 2 і 3 год, потім визначали їх міцність на лабораторному гідравлічному пресі.

Результати визначення міцності прокалених брикетів і окатишів на розчавлювання представлено на графіку, зображеному на рисунку 3.5.



а)



б)

Рисунок 3.5 – Залежність міцності брикетів та окатишів при відпалі 500, 600 та 700 °С

1 – Брикет при 500 °С; 2 - Брикет при 600 °С; 3 - Брикет при 700 °С; 4 - Окатиш при 500 °С; 5 - Окатиш при 600 °С; 6 - Окатиш при 700 °С.

З даних представлених на рисунку видно, що випал брикетів та окатишів при температурі 500 °С незначно підвищує міцність. Випал брикетів при 600 °С також недостатній, а для окатишів підвищує незначно.

Найкращі результати показав випал при 700 °С, він впливає значно краще, збільшуючи їх міцність брикетів до 17,6 МПа за 1 год, до 23,5 МПа за 2 год і до 49,3 МПа за 3 г, а міцність окатишів до 13,7 МПа за 1 год, до 21,6 МПа за 2 чи до 44,4 МПа за 3 год. Таким чином, в обох випадках зі збільшенням тривалості випалу міцність матеріалу зростає.

З впевненістю можна сказати, що брикети, відпалені 2 години при температурі 700 °С мають необхідний рівень міцності, який водночас є більшим ніж у окатишів, що робить брикети кращим варіантом при виплавці титанового шлаку (рисунок 3.4, б). Також, за рахунок більшого, ніж окатиші розміру, використання брикетів сприяє кращій газопроникності, не утворюється «козлів», гази відходять рівномірно.

Основним етапом дослідження було проведення плавок з використанням брикетованої титановмісної шихти. Брикетування має ряд істотних переваг, які дозволяють вважати його перспективнішим методом окускування при виробництві титану. Використання брикетів пред'являє менш жорсткі вимоги до якості сировини і на відміну від інших способів окускування дозволяє використовувати матеріали широких класів крупності менше 10 мм, практично в будь-яких пропорціях і складах. Визначивши правильний розмір брикету можна домогтися кращої газопроникності, ніж при використанні агломерату. При брикетуванні зберігаються властивості компонентів, що входять в брикети, на відміну від агломерації. Брикетування є екологічно чистим способом окускування.

3.4 Аналіз технології брикетування

При виготовленні брикетів можливо використовувати сировину, яка є відходами виробництва, що являє собою неминучий елемент існуючої

технології виробництва титану. Під відходами виробництва в широкому розумінні слова слід розуміти сировину, матеріали та енергоресурси, в силу тих чи інших причин не використані для отримання основної продукції. До брикетованих відходів виробництва титану відносять: колошниковий пил, дрібний брухт, окалина, стружка і т. д.

При сучасному рівні розвитку металургійного виробництва значно зростають масштаби матеріального споживання ресурсів і значення фактора повноти їх використання, тому залучення вторинних матеріальних ресурсів має першорядне значення. У зв'язку з цим вдосконалення традиційних і розробка нових технологій є необхідною умовою сталого розвитку металургії

Аналіз результатів показав, що переваги брикетування дозволяють знизити вплив металургійних процесів на навколишнє середовище. Кращі результати досягаються при роботі руднотермічної печі на брикетованій шихті, через недоліки виплавки титанових шлаків звичайним способом, такими як: - необхідність підготовки шихти; - утворення у процесі плавки нижчих оксидів титану, які ускладнюють відновлення оксидів заліза; - необхідність високої концентрації теплової енергії; - тугоплавкість шлаків, що виходять, їх висока хімічна активність; - спільний злив чавуну й шлаків.

Основним завданням підготовки шихти є досягнення стійкої технології та інтенсифікації відновного процесу. При плавці неокускованного ільменітового концентрату при передчасному переході в розплав і необхідності тривалого витримування шлаку в печі для завершення відновних процесів піч тривалий час працює з відкритою ванною. При цьому безперервність процесу порушується, втрати енергії різко зростають до 2400 кВт/год, в значній мірі зношуються деталі печі – футерівка, склепіння та інші, що веде до частих аварійних простоїв і різкого зниження продуктивності печі.

Агломерація і окомкування на відміну від брикетування набули більшого поширення так як ці технології мали досить високу продуктивність.

В даний час найчастіше застосовувані методи окускування сировини окатуванням і агломерацією багато в чому вичерпали свої резерви і не можуть забезпечити необхідну продуктивність в існуючих умовах.

У зв'язку з тим, що в природі значно зменшилися запаси багатих залізовмісних руд, тому з'явилася необхідність вдатися до переробки бідних залізовмісних руд з подальшим їх збагаченням.

Процес глибокого збагачення залізовмісної руди можливий тільки при тонкому її подрібненні. Спікання таких тонких матеріалів на агломераційних машинах протікає повільно, приводить до зниження продуктивності стрічок і погіршення якості агломерату. При роботі на одержуваному при цьому крихкому і різному за розмірами шматків агломерате не забезпечується доброю газопроникністю шихти, і тим самим значно знижуються техніко-економічні показники печей.

Так, при існуючому технічному рівні складно отримати металізований агломерат або міцні окатиші з високим вмістом вільного вуглецю. Плавка брикетованої шихти істотно відрізняється від плавки неокускованої шихти або агломерату.

Завдяки тому що ільменітовий концентрат добре піддається брикетуванню із помеленим вуглецевим відновником краще за все для виробництва титанового шлаку використовувати шихту у формі брикетів. [18]

3.4.1 Коротка характеристика сировини для брикетування

У металургійному виробництві використовують велику кількість матеріальних ресурсів. За призначенням і характером брикетовані металургійні матеріали діляться на основні і допоміжні.

Основні матеріали складають головний вміст брикету, наприклад, руди, концентрати, відходи металургійного виробництва. Допоміжні матеріали використовують в процесі виробництва брикетів як додаткові, що

поліпшують технологічний процес і якість отриманих брикетів. До допоміжних матеріалів відносяться флюси, легуючі добавки, зв'язуючі і т.д.

Паливна сировина може бути як основним, так і допоміжним матеріалом при брикетуванні. В якості паливної сировини може виступати вугільний пил, коксова дрібниця, бій електродів і т. д.

За джерелами утворення всі матеріали поділяють на первинні, свіжі матеріали і оборотні, вторинні матеріали або відходи. До оборотних матеріалів відносять використовувані відходи, побічні і попутні продукти.

Під відходами виробництва титану в широкому розумінні слова слід розуміти сировину, матеріали та енергоресурси, в силу тих чи інших причин не використані для отримання основної продукції. Відходи є неминучим елементом існуючої технології виробництва. [19]

До брикетованих відходів виробництва титану відносять:

- Колошниковий пил.
- Дрібний металевий брухт.
- Окалина.
- Металева стружка і т. д.

3.4.2 Аналіз тиску пресування

Між тиском пресування і міцністю брикетів існує лінійна залежність – з ростом тиску зростає і міцність. Так, при брикетуванні ільменітового концентрату при зростанні тиску брикетування з 35 до 50 кН міцність брикетів збільшується більш ніж в два рази на стиск – з 69 до 148 кгс/брикет (таблиця 3.1). Для створення максимального стиску частинок матеріалу в брикеті необхідно використовувати високий тиск. Тиск при брикетуванні поширюється хвилеподібно, зменшуючись в глибину брикету. Ущільнення припиняється внаслідок погашення тиску від місця збудження. Це відбувається виключно через посилення тертя між частинками в результаті наростання зусиль. Чим

рівномірніше розподілено тиск по поверхні брикету, тим міцніше його структурні зв'язки. [20]

Таблиця 3.1 – Вплив тиску пресування на міцність брикетів

Номер дослідів	Кількість зв'язуючого, %	Діаметр брикетів, мм	Міцність на стиснення, кгс/брикет	Міцність на стиснення після прокалювання, кгс/брикет	Тиск пресування, кН
1	4	55	148,23	278,56	50,0
2			134,15	275,13	48,5
3			114,73	235,85	46,5
4			93,63	191,66	42,5
5			84,83	180,90	37,5
6			69,13	105,13	35,0

При брикетуванні відбувається зміна структури і властивостей дрібнозернистих матеріалів: збільшується площа контакту між частинками матеріалу, підвищується міцність, зменшується пористість, подрібнюються скупчення частинок, а іноді і самі частинки (відбувається їх зміцнення - наклеп). Деформація частинок матеріалу в процесі брикетування протікає нерівномірно, як в обсязі брикету, так і в кожній індивідуальній частці порошку. Створюється нерівномірна деформація структурних підрозділів (частинок) як за величиною, так і за напрямком.

Невпорядковане взаємне розташування частинок визначає величину і напрямок зусиль, прикладених до кожної окремої частки. Очевидно, що ступінь деформації частинок буде різною. Усередині окремих частинок також створюється нерівномірна деформація. Додаток зусиль до частки може бути одне - або багатоступінчастим, навантаження може бути розподілена рівномірно або нерівномірно, прикладена в одній або декількох точках і т.п. інакше кажучи, в частці можуть одночасно здійснюватися всілякі варіанти деформації: пружна, тендітна і пластична. Таким чином, в результаті брикетування виходить конгломерат частинок, що знаходяться в різного ступеня напруженого стану і з різним ступенем деформації в різних зонах однієї і тієї ж частинки.

Зусилля пресування необхідне для отримання нормативної міцності брикетів, в більшості випадків зростає з дисперсністю матеріалу. Крім того, з ростом тиску пресування значення раціональної точки вологості матеріалу, що відповідає максимуму міцності брикетів знижується.

Надмірно високі тиску пресування можуть мати негативний вплив якості брикетів. Так, при брикетуванні занадто високий тиск пресування призводить до витискування води і рідкого сполучного на поверхню брикету.

Одночасно відбувається зниження частки пластичних деформацій і зростання крихких. Переважання крихких деформацій призводить до утворення поверхонь, не покритих зв'язуючим. В результаті відбувається порушення структури брикету, що в свою чергу позначається на механічних властивостях брикет після виходу з комірок брикет-преса руйнується по лінії з'єднання півсфер.

3.4.3 Коротка характеристика зв'язуючих для брикетування

При брикетуванні багатьох видів подрібненого сировини, володіє недостатніми автогезійними властивостями, навіть при високих тисках звичайним холодним пресуванням отримувати міцні брикети без їх спікання не представляється можливим. У таких випадках використовують зв'язуючі-допоміжні матеріали, що поліпшують злипання частинок і підвищують міцність брикетів до заданого рівня.

Оскільки добавки таких матеріалів можуть становити від декількох до 10 % і більше, вони повинні відповідати наступним вимогам:

- володіти високими автогезійними властивостями, тобто забезпечувати високу холодну і гарячу міцність при мінімальній витраті сполучного компоненту.
- забезпечувати швидке схоплення.
- вносити мінімальну кількість шкідливих та інших домішок, небезпечних для обслуговуючого персоналу і знижують якість кінцевого продукту.

- не погіршувати умов плавки брикетів.
- бути поширеними і володіти невисокою вартістю.
- не вимагати складних прийомів і операцій по їх використанню.
- забезпечувати мінімальну вологостійкість.

Сполучні поділяють на три типи:

- мінеральні (неорганічні);
- органічний;
- комбінований.

До поширеним неорганічним сполучною слід віднести гашене вапно, рідке скло, глиноземистий і портландський цемент. Однак багато з них мають суттєві недоліки. Так, гашене вапно та цемент при нагріванні віддають гідратну вологу і втрачають міцність, рідке скло містить значну кількість лугів і двоокис кремнію, а глиноземистий цемент до того ж надзвичайно доріг.

До поширеним органічною сполучною відносять кам'яновугільні і нафтові смоли, сульфідний луг, відходи гідролізної та целюлозної промисловості і т. п. Загальним недоліком органічних сполучних є їх піроліз або вигоряння при високих температурах з втратою міцності, а також внесення в брикети значної кількості сірки. [19, 20]

До комбінованим сполучним відносять суміші різних сполучних. Ці суміші дозволяють поліпшити позитивні і знизити негативні властивості.

В якості сполучних краще використовувати найбільш поширені і добре досліджені матеріали:

- вапно гашене (портландит);
- рідке скло;
- портландцемент;
- глиноземний цемент;
- магнезійний цемент;
- бішофіт;
- бентоніт;
- сульфідний луг;

- кам'яновугільний пек.

Вапно, або оксид кальцію CaO в техніці називають негашеним або паленим вапном, яка при взаємодії з водою утворює гашене вапно, що володіє високими в'язучими властивостями. Гашене вапно є порівняно дешевим, досить міцним і добре змішується, але основним недоліком гашеного вапна є те, що при нагріванні до $580\text{ }^\circ\text{C}$ починає видалятися гідратна волога, через що міцність брикетів падає [1].

Рідке скло натрієве по містить в середньому 30 % SiO_2 , 13 % Na_2O , 0,8 % домішок Al_2O_3 , SO_3 і CaO , решта – вода. Добавки рідкого скла в кількості 5...7 % (понад 100 %) дають після сушіння досить міцний брикет, а що утворюється при нагріванні фаяліт сприяє утворенню рідких фаз. Істотним недоліком рідкого скла є значне підвищення в брикеті змісту діоксиду кремнію і лугів.

Бішофіт, віддаючи при прожарюванні вологу, перетворюється у виключно міцну кристалічну сіль MgCl_2 , яка може виступати не тільки в якості сполучного, але і речовини, що переводить цинк в легколетучие з'єднання. Недоліком даного сполучного є те, що після прожарювання він поступово, приєднуючи вологу з повітря, розтікається, а брикет втрачає свою первісну міцність [4].

Бентоніт володіє хорошими в'язучими властивостями. Його основою є монтмориллоніт, який при розчиненні у воді утворює надзвичайно колоїдні дисперсні частинки, що володіють високими аутогезионними властивостями, питома поверхня яких складає $600\text{...}900\text{ м}^2/\text{р}$. Його широко використовують при виробництві окатишів. Витрата бентоніту становить зазвичай 0,5-1,5 % від використовованого концентрату [4].

Сульфітний луг (концентрат сульфітно-спиртової барди) це відхід лісохімічних виробництв, що утворюється при сульфітному варінні деревної целюлози, а тому відносно дешевий і недефіцитний. Як зв'язуюче, сульфітний луг володіє задовільними зв'язуючими характеристиками. Добавки 4 % (понад 100 %) дозволяє отримувати не тільки міцний брикет, але і знизити вміст

відновника на 2 %. Витяг брикетів з прес-форми задовільний. Міцність на розчавлювання лабораторних брикетів з добавкою 4 %, доходить до 30 МПа.

Незважаючи на те, що істотним недоліком даного зв'язуючого є незадовільне змішування з основними компонентами брикетів, сульфітний луг, поряд з рідким склом, слід віднести до найбільш ефективних видів зв'язуючих.

Кам'яновугільний пек являє собою тверду, крихку речовину чорного кольору, що є залишком перегонки кам'яновугільної смоли, здійснюваної на коксохімічних заводах. Щільність пеку 1100-1240 кг/ м³, температура розм'якшення 50-140 °С (в залежності від марки), температура займання 230...300 °С. Його зазвичай використовують при брикетуванні вугілля.

При проведенні випробувань брикетів на міцність з використанням деяких з приведених зв'язуючих при скидуванні з 1,5 м та на міцність при розчавлюванні були отримані результати, які занесені у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати проведення випробування на міцність брикетів з різними зв'язуючими

Зв'язуючі	Вапно	Рідке скло	Сульфітний луг	Вугільний пек
Міцність при скидуванні, раз	9	>10	>10	6
Міцність при розчавлюванні, МПа	20	25	24	15

За результатами випробувань кращим зв'язуючим для брикетів, які використовуються при виробництві титанового шлаку є сульфітний луг (концентрат сульфітно-спиртової барди) – побічний продукт целюлозної промисловості, він є не шкідливим для процесу, не несе домішок, як у рідкому склі (Si), міцніший ніж вапно та більш надійний, ніж вода, яка випарюється при високих температурах. Для отримання міцних брикетів потрібна лише невелика кількість цього сполучника (до 4 %).

3.4.4 Аналіз пресу для отримання брикетів

Брикетні преси є основним обладнанням, що реалізує однойменний метод окускування сировини. У зв'язку з актуальністю окускування надзвичайно різноманітного сировини було розроблено значну кількість різних видів пресів, що відрізняються конструктивними особливостями.

У металургії найбільшого поширення набули такі типи пресів:

- Вальцовий;
- Штемпельний;
- Важільний;
- Кільцевий.

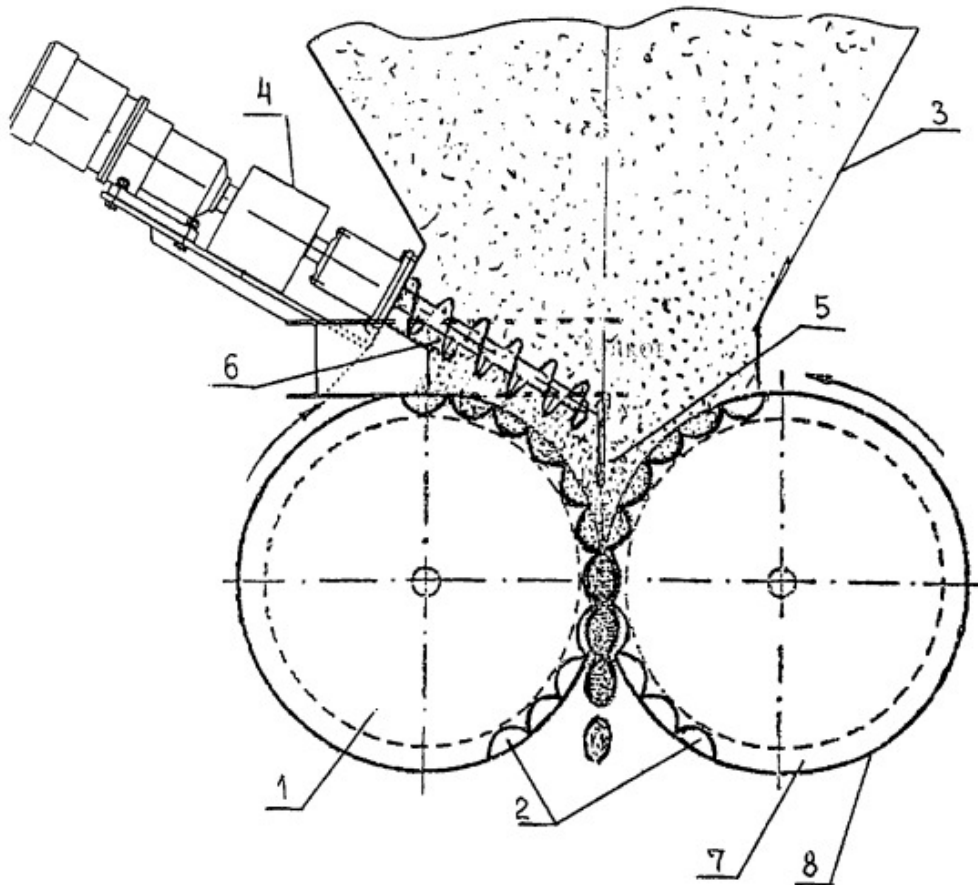


Рисунок 3.5 – Конструкція валкового преса

1 – валки; 2 – формуючі комірки; 3 – загрузочний бункер; 4 – шнековий живильник; 5 – кут прийому шихти; 6 – шнек; 7 – барабан; 8 – бандаж. [24]

Валковий прес відповідає усім вимогам брикетування сировини для титанового виробництва, короткий опис представлено нижче. Валковий (вальцьовий) брикетний прес – це пристрій для брикетування різних дрібнодисперсних матеріалів із застосуванням сполучних добавок. Зазвичай валкові брикетні преси застосовують для брикетування копалин вугілля, руд і рудних концентратів, різних відходів виробництва та ін

Вальцьовий (валковий) брикетний прес являє собою станину, на якій змонтовані одна або дві пари вальців, розподільна чаша і привід. На вальцях кріпляться сталеві бандажі з осередками у вигляді симетричних напівформ брикетів. Процес пресування матеріалу відбувається в просторі між обертовими назустріч один одному вальцями (валками).

Над вальцями, зазвичай, встановлюють дозатори або вертикальні шнеки. Вони забезпечують попереднє ущільнення брикетної шихти і допомагають підвищувати тиск до 100 МПа, доводячи, при цьому, продуктивність виготовлення брикетів до 5 т/год. Це робиться з метою підвищення тиску в процесі пресування, а також для скорочення витрат зв'язуючих речовин і поліпшення фізико-механічних властивостей брикетів.

3.5 Дослідження технології отримання титанового шлаку

Основним завданням досліду є розробка технології отримання титанового шлаку з вмістом не менш 90 % TiO_2 та вирішується воно тим, що шихту, що складається з ільменітового концентрату і вуглецевого відновника у співвідношенні 1:(0,09-0,15) відповідно подрібнюють, змішують зі зв'язуючим, і з додаванням води у кількості 5 % від маси, виготовляють брикети і їх піддають прокалці при температурі 700 °С дві години.

Для підвищення техніко-економічних показників шихта окомковується методом брикетування на валкових пресах, в якості сполучного використовують органічний сульфітний луг в кількості 4 % від маси шихти на плавку.

Для досягнення основної мети - отримання титанових шлаків з вмістом не менш 90 % TiO_2 в якості ільменітового концентрату використовують Вільногірські концентрати з низьким вмістом домішок TiO_2 – 63,0 %; FeO – 22,25 %; Fe_2O_3 – 7,5 %; SiO_2 – 2,0 %; Al_2O_3 – 3,0 %; MgO – 0,85 %; MnO – 0,95 %; CaO – 0,44 %. Використовується при відновних процесах вуглецевий відновник - металургійний кокс, кам'яне вугілля містить активного вуглецю не менше 80 % і сірки не більше 1 %.

Науковою новизною досліджуваного способу є те, що використання ільменітового концентрату з даними вмістом в заданому співвідношенні з вуглецевим відновником і зазначеними технологічними прийомами дозволяє отримати титанові шлаки з вмістом не менш 90 % TiO_2 і попутно з ним перероблений чавун за один металургійний переділ.

Зважаючи на найбільш стабільний процес плавки перевагу віддають процесу виплавки титанових шлаків в руднотермічних пічах. Виплавка ведеться в закритій трьохфазній електропечі з круглою ванною, безперервним процесом з періодичними випусками з потужністю пічного трансформатора 5000 КВА.

При проведенні дослідження було розділено на три етапи, які відрізнялися типом окускованої шихти перед плавкою, для того, щоб виявити найкращі показники. Першим етапом була плавка з використанням окатишів, другим – плавка з агломератом, третім – плавка з використанням брикетів.

На першому етапі проводився процес плавки з окатишами у якому були підтвержені наступні металургійні властивості окатишів: мінімальне з'єднання шкідливих домішок, також вони забезпечують оптимальні газодинамічні умови роботи печі. В ході плавки було виявлено, що окатиші сильно руйнуються, чим збільшують вміст пилу в атмосфері печі, що призводить до втрат концентратів з пиловиносом.

При роботі печей тільки на окатишах виникають певні труднощі через погіршенні газопроникності шару і розвитку процесів шлакоутворення, тому використовують суміш агломерату та окатишів.

При проведенні плавки на агломераті було виявлено що порівняно з окатишами збільшується газопроникність, але в той час збільшується й пилевинос. Використання агломерату вимагає додаткового багатовартісного обладнання, що відражається на собівартості кінцевого матеріалу.

Основним етапом дослідження було проведення плавок з використанням брикетованої титановмісної шихти. Брикетування має ряд істотних переваг, які дозволяють вважати його перспективнішим методом окускування при виробництві титану.

Використання брикетів пред'являє менш жорсткі вимоги до якості сировини і на відміну від інших способів окускування дозволяє використовувати матеріали широких класів крупності менше 10 мм, практично в будь-яких пропорціях і складах. Визначивши правильний розмір брикету можна домогтися кращої газопроникності, ніж при використанні агломерату. При брикетуванні зберігаються властивості компонентів, що входять в брикети, на відміну від агломерації. Брикетування є екологічним способом окускування.

Аналіз результатів показав, що переваги брикетування дозволяють знизити вплив металургійних процесів на навколишнє середовище. Кращі результати досягаються при роботі руднотермічної печі на брикетованій шихті, через недоліки виплавки титанових шлаків звичайним способом, такими як: - необхідність підготовки шихти; - утворення у процесі плавки нижчих оксидів титану, які ускладнюють відновлення оксидів заліза; - необхідність високої концентрації теплової енергії; - тугоплавкість шлаків, що виходять, їх висока хімічна активність; - спільний злив чавуну й шлаків.

Основним завданням підготовки шихти є досягнення стійкої технології та інтенсифікації відновного процесу. При плавці неокускованного ільменітового концентрату при передчасному переході в розплав і необхідності тривалого витримування шлаку в печі для завершення відновних процесів піч тривалий час працює з відкритою ванною. При цьому безперервність процесу порушується, втрати енергії різко зростають до 2400 кВт/год, в значній мірі

зношуються деталі печі – футерівка, склепіння та інші, що веде до частих аварійних простоїв і різкого зниження продуктивності печі.

Плавка брикетованої шихти істотно відрізняється від плавки неокускованої шихти або агломерату.

У брикетах, що містять тонкоподрібнений вуглецевий матеріал, запобігає випередження розплавлення шихти, а відновлення оксидів заліза в основному протікає в твердій фазі, спостерігається значно краща і рівномірна газопроникність, різко знижуються втрати сировини через віднесення дрібних частинок; більш повніше використовується енергія печі і теплова енергія газів. При плавці не відбувається значного перевідновлення оксидів титану. Збільшується стійкість футеровки печі до 20 %. Все це сприяє більш високій продуктивності печі і зменшує витрату електричної енергії 1800 квт.год. на 1 тону шлаку замість існуючих 2200 квт.год. на 1 тону шлаку.

Завдяки тому що ільменітовий концентрат добре піддається брикетуванню із помеленим вуглецевим відновником краще за все для виробництва титанового шлаку використовувати шихту у формі брикетів.

Кращим зв'язуючим для цієї мети є сульфідний луг (концентрат сульфідно-спиртової барди) – побічний продукт целюлозної промисловості, він є не шкідливим для процесу, не несе домішок, як у рідкому склі (Si) та більш надійний, ніж вода, яка випарюється при високих температурах. Для отримання міцних брикетів потрібна лише невелика кількість цього сполучника (до 4 %). До складу брикетів входять: ільменітовий концентрат 85 %, вуглецевий відновлювач 10 %, сульфідний луг 4 %, інші домішки 1 %.

Зусилля пресування брикетів не менш важливе ніж зв'язуюче. При проведенні дослідів найоптимальнішим варіантом було стиснення силою 50 кН, при цьому тиску брикети мали міцність на стиснення 148,23 кгс/брикет. При збільшенні тиску пресування значення вологості матеріалу збільшується, що призводить до витискування води і рідкого сполучного на поверхню брикету, одночасно відбувається зниження частки пластичних деформацій і зростання крихких. Переважання крихких деформацій призводить до утворення

поверхонь, не покритих зв'язуючим. В результаті відбувається порушення структури брикету, брикет після виходу з комірок брикет-преса руйнується по лінії з'єднання півсфер.

При виготовленні брикетів доцільно застосовувати валкові преси, що відрізняються простотою конструкції і високою продуктивністю. Брикети слід використовувати розміром не більше 55 мм, при цьому вони мають зручну овальну форму, сприятливу для рівномірного сходу шихти, що забезпечує хороше і рівномірне газовиділення по всьому об'єму печі.

В результаті досліджень методів окускування титановмісної шихти брикетування було зазначено в якості основного, так як інші методи окускування не дають бажаного результату: сировина не завжди добре окомковується і спікається, а при спіканні видаляються потрібні компоненти.

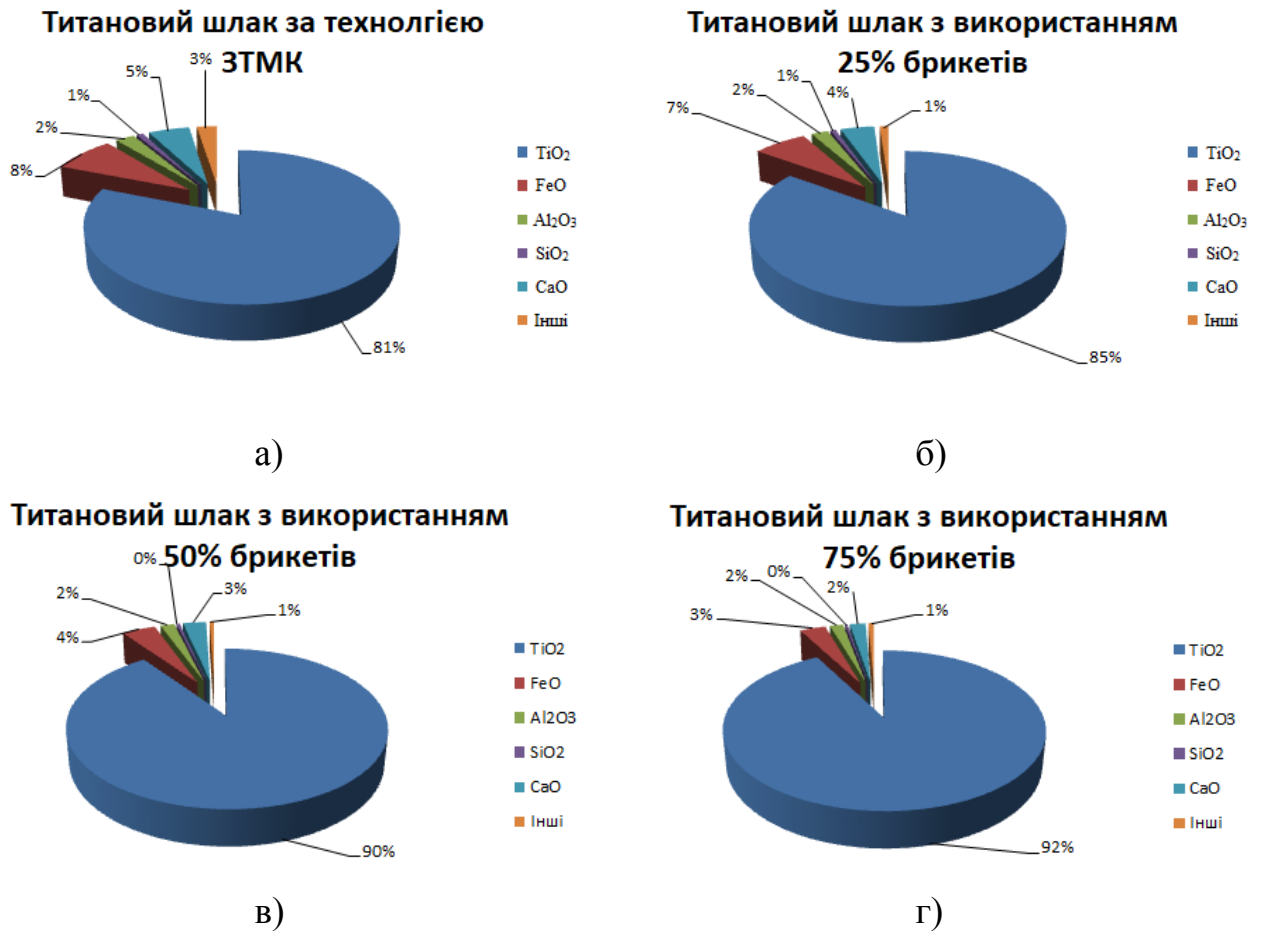
При плавці брикетів спостерігається значно краща і рівномірна газопроникність, знижуються втрати сировини через віднесення дрібних частинок, повніше використовується енергія печі і теплова енергія газів, не відбувається значного перевідновлення оксидів титану та збільшується стійкість футеровки печі до 20 %. Оптимальний склад брикетів: ільменітовий концентрат 85 %, вуглецевий відновлювач 10 %, сульфідний луг 4 %, інші домішки 1 %, розміром не більше 55 мм.

Співвідношення шихти має одну з найважливіших ролей у отриманні чистого титанового шлаку, якщо додати занадто багато брикетів – плавка буде йти довше, процес стане дорожче та сам процес не буде рентабельним. Якщо не окусковувати шихту зовсім, отриманий титановий шлак буде забруднений домішками.

Для досліду були обрані наступні способи співвідношення брикетів до неокускованої шихти:

- отримання титанового шлаку за технологією ЗТМК;
- отримання титанового шлаку з використанням 25% брикетів у шихті;
- отримання титанового шлаку з використанням 50% брикетів у шихті;
- отримання титанового шлаку з використанням 75% брикетів у шихті.

Результати плавок зображені на рисунку 3.6



а) титановий шлак, виготовлений на ЗТМК; б) титановий шлак, виготовлений з заміною 25% неокускованої шихти на брикети; в) титановий шлак, виготовлений з заміною 50% неокускованої шихти на брикети; г) титановий шлак, виготовлений з заміною 75% неокускованої шихти на брикети.

Рисунок 3.6 – результати досліджування різних способів співвідношення шихти при виробництві титанового шлаку

Аналіз результатів показав, що заміна всього 50 % неокускованої шихти на брикети дозволяє отримати чисті титанові шлаки з 90 % TiO₂ і попутно з цим перероблений чавун за один металургійний переділ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Забруднення і відходи у металургійному виробництві. У світі споживаються мільярди тонн мінеральної сировини, палива, води, атмосферного кисню, а в готовий продукт переходить близько 1 % витрачених природних ресурсів. При цьому щорічно в атмосферу викидається близько 1 млрд. т газів (в т. ч. CO, SO₂, NO, NO₂), приблизно стільки ж сажі; в природні водойми надходить більше 500 млрд. т промислових і побутових стоків.

Відходи і викиди виснажують запаси невідновлюваних природних ресурсів і надають шкідливий, а часом і смертельну вплив на навколишнє середовище і на умови життя людини.

Найбільш серйозний вплив на навколишнє середовище надає металургія. Металургія є енерго - і ресурсномісткою галуззю. При щорічному споживанні декількох тисяч тонн мінеральних ресурсів у кінцеву продукцію переходить не більше 30 %, решта ж кількість утворюють відходи виробництва.

Найбільш сильний вплив металургія надає на атмосферне повітря і поверхневі води, а також на рівень забрудненості підземних вод і ґрунтів.

У містах, де розташовані великі підприємства галузі, відзначаються високі рівні. За даними аерокосмічної зйомки снігового покриву, зона дії підприємств металургії проглядається на відстані до 60 км від джерела забруднення.

У загальному випадку джерело забруднення природного середовища можна класифікувати за:

- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| -походженням | -просторово-тимчасовою ознакою |
| а) штучні – антропогенні, | а) фіксовані, |
| б) природні; | б) нефіксовані; |
| -місцем надходження | - тимчасовою ознакою |
| а) континентальні, | а) постійні; |
| б) морські, | б) випадкові; |
| в) атмосферні; | в) разові. |

4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху з виробництва титанових шлаків

Виробництво титанових шлаків пов'язане із застосуванням різних шкідливих хімічних речовин. Ці речовини при порушенні технології або при недотриманні профілактичних заходів можуть потрапити в повітря, землю, стічні води й становити небезпеку як для самих працюючих, так і для населення, що проживає поблизу підприємства. Найменше відхилення від правил експлуатації, техніки безпеки може привести до нещасного випадку. Тому обслуговування складної техніки виробництва титанового шлаків можуть вести тільки спеціально підготовлені люди.

Робітники, уперше прийняті на виробництво, проходять вступний інструктаж з техніки безпеки. Допуск робітника до самостійної роботи здійснюється тільки після перевірки його знань по техніці безпеки.

В атмосфері виробничих приміщень ділянок одержання титанового шлаків, підготовки шихти до хлорування може знаходитись пил титановмісних концентратів. Цей пил є не горючим, самозапалювання не має, не вибухонебезпечний й не токсичний. Гранично припустима концентрація (ГПК) його в атмосфері виробничих приміщень становить 10 мг/м^3 .

Пил коксу присутній в атмосфері виробничих приміщень ділянки підготовки сировини й руднотермічної плавки. ГПК його в атмосфері виробничих приміщень рівна 6 мг/м^3 . В умовах виробництва титанового шлаку цей пил є пожежонебезпечним, а при певних обставинах він може бути й вибухонебезпечним. При роботі з відкритим вогнем, щоб уникнути загоряння меленого коксу рекомендується змочити водою робочий майданчик. Для гасіння пожежі в бункерах з коксом доцільно застосовувати інертний газ – аргон.

Мелений кокс при тривалому зберіганні в умовах підвищеної вологості й температури може розкладатися з утвором токсичного й вибухонебезпечного окису вуглецю.

Титанові відходи присутні в атмосфері виробничих приміщень підготовки сировини й руднотермічної плавки. ГПК його в атмосфері виробничих приміщень рівна 10 мг/м^3 . Цей пил має здатність до загоряння при ударах і терті, при наявності відкритого вогню, іскри. При підготовці титанових відходів до плавки необхідно стежити за відсутністю відкритого вогню й уникати небажаних ударів шихти.

Пил титанового шлаку також перебуває в атмосфері виробничих приміщень ділянки виплавки титанового шлаків. ГПК його в атмосфері виробничих приміщень 10 мг/м^3 . Цей пил є нейтральним продуктом.

Захист органів подиху від пилу коксу, титановмісної сировини, титанових відходів, титанового шлаків здійснюють за допомогою респіратора "Пелюстка".

Окис вуглецю втримується в газах, що відходять, руднотермічної печі, а також у ємкостях меленого коксу. ГПК його в атмосфері виробничих приміщень становить 20 мг/м^3 . Окис вуглецю – безбарвний отруйний газ, без смаку й запаху. При вмісті в повітрі $12,5 \dots 74,0 \%$ С утворюється вибухонебезпечна суміш. Окис вуглецю викликає важкі отруєння кровеносно-судинної системи, руйнує гемоглобін крові.

Ознаки отруєння: погане самопочуття, запаморочення, біль у лобовій частині й скронях, шум у вухах, почуття слабості, блювота. Перша допомога - негайне видалення із зараженої атмосфери, вдихання кисню й наступне відправлення потерпілого в медпункт. Індивідуальними засобами захисту органів подиху при вмісті не більш 2% (по масі) є протигази з коробками С, М, БКФ (з гопкалитовими патронами) і В (з гопкалитовим патроном). При великому вмісті використовують кисневий ізолюючий і шланговий протигази (ПШ-2). Для очищення газів, що відходять, застосовують часткове їх допалювання. У результаті руднотермічної плавки утворюється титановий шлак й чавун, які мають підвищену температуру.

При влученні на незахищені ділянки тіла викликають термoxімічні опіки, що довго не гояться. Ці розплави несумісні з водою: влучення води в розплав або навпаки, як правило, приводить до вибуху.

Захист від поразки розплавами: носіння сукняних спецодягу й капелюха, валянок, спецрукавиць у період випуску продуктів плавки. Оцінка виробничих факторів та карта умов праці для робочого місця представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого трудового процесу плавильника титанових шлаків.

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора, %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : 4 клас небезпеки Титану діоксид Заліза оксид Вуглецю оксид	10,0 6,0 20,0	10,0 4,3 12,9				88.2
2	Шум, дБА	80	80				88.2
3	Мікроклімат у приміщенні (теплий період): - температура, °С; - швидкість руху повітря, м/с; - відносна волога повітря, %; - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	18... 20 0,2... 0,5 40/60	32 0,3 44 1860			12 1720	88.2
4	Тяжкість та напруженість праці	категорія праці – тяжка, III напружена					

Таким чином, проведений аналіз умов праці при виробництві титанових шлаків дозволяє зробити висновок про перевищення нормативних показників по рівню інфрачервоного випромінювання, температури. Все це дозволяє віднести умови праці до III класу 3 ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими умовами праці. Для зниження впливу шкідливих чинників при виконанні робіт пов'язаних з професією слід ввести доплату працівникам у вигляді премії 12 % тарифної ставки, а також додаткові дні до відпустки.

4.2 Заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Основні заходи, спрямовані на зниження небезпеки впливу інфрачервоного випромінювання, полягають у наступному:

- захисне екранування джерела або робочого місця (створення екранів з металевих сіток і ланцюгів, облицювання азбестом відкритих прорізів пічей);
- використання засобів індивідуального захисту (використання для захисту очей і обличчя щитків і окулярів з світлофільтрами, захист поверхні тіла спецодягом);
- лікувально-профілактичні заходи (організація раціонального режиму праці і відпочинку, організація періодичних медоглядів);

До числа заходів, здатних послабити шкідливу дію теплового випромінювання, відносяться:

- влаштування у тепловиділяючих виробничих джерел ланцюгових або водяних завіс;
- застосування екранів з матеріалів, що володіють малою теплопровідністю;
- здійснення аерації гарячих цехів;
- пристрій спеціальних кімнат відпочинку, а також душів;
- забезпечення працівників підсоленою газованою водою (3 г солі на 1 л води);

Також для зниження впливу шкідливих чинників слід використовувати індивідуальні засоби захисту.

До індивідуальних засобів захисту відносяться: костюм сукняний, черевики, рукавиці сукняні підшиті шкірою, капелюх сукняний з паранджею і світлозахисними стеклами марки С-4; С-5; П-4 або Г-3, каска зі світлозахисними козирковими окулярами типу К1-ПЗ, особистий протигаз БКФ, респіратор "Пелюстка".

Спецодяг, спецвзуття й запобіжне пристосування захищають робочих плавильних цехів від отруень, профзахворювань, а також запобігають можливості поразки електричним струмом.

Спецодяг і спецвзуття служать для захисту людини від шкідливих впливів пилу, іскор, бризків розплавленого металу, води й холоду.

4.3 Заходи з електробезпеки

Згідно із «Правилами пристрої електроустановок» (ПУЕ) усі виробничі приміщення по виплавці титанового шлаків класифікуються як пожежонебезпечні та вибухонебезпечні. Згідно ПУЕ відділення підготовки сировини та плавки з погляду пожежонебезпеки належить до категорії П-Па, як приміщення, у яких утворюються горючі речовини й матеріали у твердому або волокнистому стані без виділення пилу й волокон. Приміщення плавильного переділу не є пожежонебезпечними. З погляду вибухонебезпечне приміщення підготовки сировини ставиться до класу В-П. Приміщення плавильної ділянки ставиться до класу В-Па як приміщення, пов'язане з утвором вибухонебезпечних пилових сумішей лише в результаті аварій або несправності технологічного встаткування.

Виробництво титанового шлаків пов'язане із застосуванням механізмів, устаткування з електричними приводами, де існує небезпека поразки струмом. Усе використовуване в технологічному процесі електричне встаткування повинне відповідати нормам ПУЕ.

Поразка електричним струмом залежить не від величини напруги, а від сили струму, що проходить через тіло людини. Безпечним є струм величиною до 0,05 А. Струм вище 0,1 А и вище є смертельним для людини.

Відомі наступні види поразки електричним струмом: електричний удар – виникає при безпосередньому контакті зі струмоведучою частиною й електричні травми - поразка зовнішніх частин тіла (опіки від дії електричної дуги, поразка очей від променистої енергії дуги). Перша допомога потерпілому

полягає в негайнім звільненні його від джерела струму й застосування штучного дихання.

Заходи попередження поразки електричним струмом: надійне заземлення встаткування й металевих споруджень, захисне занулення. Для запобігання очей від опіків застосовують захисні окуляри. У місцях розташування пускових кнопок, вмикачів на підлозі повинні перебувати гумові килимки.

4.4 Заходи пожежної безпеки

При проектуванні й будівництві виробничих будинків і споруджень необхідно враховувати категорію пожежної небезпеки виробництва. Згідно з будівельними нормами й правилам (СНіП) залежно від характеристики використовуваних у виробництві речовин і їх кількості, по пожежній і вибуховій небезпеці виробництва підрозділяють на категорії А, Б, В, Г, Д и Е.

Цех виплавки титанового шлаків ставиться до виробництва категорії Г, яке характеризується наявністю речовин і матеріалів у гарячій, розпеченій або розплавленій станах, процес обробки яких супроводжується випромінюванням теплоти, іскор і полум'я, а також виробництва, у якому у якості палива спалюються тверді, рідкі й газоподібні речовини.

Склад сировинних матеріалів ставиться до виробництва категорії В, яке характеризується наявністю горючих рідин з температурою спалаху пари вище 61 °С; горючого пилю або волокон, нижня межа вибуховості яких більш 65 г/м до об'єму повітря; твердих спалених речовин і матеріалів.

Залежно від категорії пожежної небезпеки процесу вибирають ступінь вогнестійкості будинку, площа поверху між протипожежними стінами й число поверхів.

Здатність конструкцій затримувати поширення вогню оцінюється межею їх вогнестійкості. Для обмеження поширення вогню використовують неспаленні конструкції; установлюють протипожежні перешкоди, що й легко

скидаються покриття; збільшують площі зашкленних прорізів; улаштовують протипожежні стіни й перекриття; протипожежні зони й розриви.

Протипожежну стіну виконують неспалиму, глуху або з отворами. Отвори для кабелів і трубопроводів захищають шляхом набивання мінеральної вати або інших матеріалів.

Для видалення з будинку при пожежі продуктів горіння передбачають димові люки в даху або стінах. Обладнання таких люків обов'язково при відсутності ліхтарів або вікон.

Склади горючих матеріалів відокремлюють протипожежними стінами. Для пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщень воздуховоди виготовляють із негорючих матеріалів.

Згідно СНіП П-2-80 евакуаційними виходами вважаються дверні прорізи, які ведуть: безпосередньо назовні; на сходову клітку з виходом безпосередньо назовні. Евакуаційними шляхами вважаються такі, які безпосередньо ведуть до евакуаційного виходу й забезпечують безпечний рух людей.

Захист від дії електростатичних розрядів спрямований на усунення причин утворення зарядів і досягається заземленням виробничого встаткування, збільшенням електропровідності поверхонь, що електризуються.

Захист будинків, споруджень і електроустановок від прямих ударів блискавки виконують за допомогою стрижневих або тросових блискавковідводів.

На промислових підприємствах є частини пожежної охорони, які організовують гасіння пожеж і здійснюють контроль над виконанням профілактичних заходів на охоронюваній території. На основі типових правил пожежної безпеки розробляються загальнооб'єктова й цехові протипожежні інструкції, проводиться протипожежний інструктаж.

Для проведення профілактичної роботи й гасіння пожеж на промислових підприємствах і інших об'єктах створюються добровільні пожежні дружини.

У якості вогнегасних речовин, які застосовуються для охолодження вогнищ горіння, використовують воду, інертні гази, хімічну й повітряно-

механічну піну, пісок, спеціальні флюси, тверду вуглекислоту. Воду не застосовують для гасіння пожеж електричних установок під напругою, рідин, що не змішуються з водою.

При гасінні пожеж легкозаймистих рідин (ЛЗР), електроустаткування, коштовного лабораторного устаткування застосовують хімічні піни.

Звичайно для гасіння гарячого металу застосовують сухі вогнегасні порошки, наприклад хлористий і двовуглекислий натрій, порошковий графіт, вуглекислий магній та ін.

На кожні 100 м² приміщення необхідно мати два вогнегасники.

4.5 Охорона навколишнього середовища

Охорона праці персоналу, виробництві що проектується, це тільки частина загального соціального завдання – попередження або усунення шкідливих впливів проєктованого виробництва на людей і природу. Не менш важливий елемент цієї загальної задачі – охорона природи та забезпечення безпеки людей на територіях, розташованих поза майданчиком промислового підприємства, оточуючих її і навіть досить віддалених від промислового майданчика.

Одним з головних напрямків роботи з охорони природи та захисту людей на прилеглих до промислового майданчику територіях є максимальне скорочення неорганізованого виділення відходів і втрат у проєктованому виробництві. Для відходів, організовано виведених з процесу виробництва, є наступні основні шляхи знешкодження:

- повернення в процес виробництва для повторного використання чи виробництва попутної продукції;
- витяг шкідливих і небезпечних компонентів для використання або захоронення; обробка чи переробка з метою переведення небезпечних і шкідливих компонентів відходів в безпечні та нешкідливі форми.

Шкідливі складові із загальної маси відходів можна витягати різними способами залежно від форми виділення відходів і характер шкідливих і небезпечних компонентів.

У газових викидах такими компонентами можуть бути пил, рідина у вигляді крапель або туману і домішки токсичних газів. Тверді і рідкі забруднення газів можна вловлювати механічними засобами або електрофільтрами. Небажані газові домішки можна знешкоджувати хімічно або виводити з відведених газів сорбцією або розчинником. Останній метод можна застосовувати і для очищення від пилу.

При вирішенні завдання знешкодження та очищення газів з санітарної точки зору слід враховувати, що переважна більшість процесів очищення пов'язано з появою нових отбросних продуктів: пилу при сухих методах пиловловлення, розчинів або пульп при використанні схем з барботажем або зрошенням газів. В результаті виникає завдання утилізації або знешкодження таких вторинних відходів.

Знешкодження стоків зазвичай також пов'язане з виділенням або **перетворенням** двох видів забруднень – твердих суспензій і розчинних речовин.

При хімічній обробці стоків вирішуються дві основні задачі-нейтралізація із винятком кислоти і лужної реакції скидного розчину, переведення шкідливих домішок у малорозчинну форму і потім у тверду фазу, механічно виведену з стоків. Крайнє рішення, пов'язане зі значними витратами - це повне випарювання стоків. Його застосовують звичайно в умовах, коли скидання стоків виключено, а стоки мають високу концентрацію домішок.

В даний час найбільш повним вирішенням проблем стоків признано введення замкнутого водовідбору, тобто повна ліквідація скидання промислових стоків у водойми.

Природний наслідок цього рішення – перехід на видалення всіх відходів виробництва у вигляді твердих продуктів. Тверді відходи виробництва,

оскільки вони не можуть де б то не було корисно використовуватися, повинні піддаватися захороненню у відвалах, могильниках, шламонакопичувачах.

Продукти, які захоронюються у відвалах, повинні бути хімічно інертними і малорозчинними. Форма поховання повинна забезпечувати компактність відповідного матеріалу, що попереджає можливість винесення його з місця захоронення у вигляді пилу або дощовими водами. Залежно від ступеня небезпеки і шкідливості відходів виробництва, необхідного обсягу поховання визначаються форми поховання. Для високонебезпечних відходів застосовують затарювання небезпечних продуктів в монолітні бетонні блоки, які в свою чергу розміщують в укритих приміщеннях або підземних бункерах.

Проектування пристроїв для захоронення відходів здійснюється спеціалізованими проектними підрозділами або організаціями.

На промислових підприємствах велика кількість обладнання використовує масло, яке забруднює ґрунт. Внаслідок чого на підприємствах проводиться збір відпрацьованого масла в спеціальні контейнери, а також проводяться заходи щодо його регенерації.

На закінчення можна виділити деякі завдання, спрямовані на охорону навколишнього середовища:

- забезпечення державних і урядових органів управління, а також громадськості інформацією про масштаби залучення у виробничо-господарський обіг природних ресурсів;
- контроль за виконанням державних завдань з охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування;
- статистичне вивчення ефективності витрат на заходи з охорони і поліпшення навколишнього середовища;
- вдосконалення теоретичних і методичних основ економічної і не економічної оцінки впливу людини на навколишнє середовище;
- контроль за виконанням заходів, передбачених міжнародними угодами.

4.6 Технологічні заходи щодо зниження шкідливих викидів в атмосферу

Найважливішим напрямком зниження промислових викидів в повітряний басейн є вдосконалення технології виробництва процесів і основного технологічного обладнання. При виборі технологічних агрегатів перевагу слід віддавати більш потужним агрегатам.

Перехід від періодичних процесів до безперервних дозволяє сильно скоротити пило - і газовиділення. Оснащення технологічних агрегатів протипиловими пристроями значно зменшує виділення пилу в атмосферу.

У тих випадках, коли процес йде відкрито і запобігти чи придушити виділення газу та пилу в місці їх утворення не вдається, виходом з положення є уловлювання їх з допомогою цехових ліхтарів, парасольок, місцевих укриттів (ковпаків), захисних кожухів.

Цехові ліхтарі на даху будівлі мають більшість цехів металургійного підприємства. У цьому випадку вентиляція цеху відбувається шляхом аерації: зовнішнє повітря, входячи через отвори в нижній частині цеху, нагріваючись в його атмосфері, піднімається вгору і виходить через рами ліхтаря в зовнішню атмосферу, виносячи з собою з цеху виділення пилу та газу.

Цехові ліхтарі застосовують в тих випадках, коли пиловиділення відбувається по всій площі цеху і немає можливості організувати локалізоване відведення і очищення газів від місця їх утворення. Очищення газів, що виходять з ліхтарів в атмосферу, застосовують рідко, так як обсяги цих газів величезні через підсмоктування баластного повітря на шляху руху газів.

Парасольки і ковпаки найбільш часто встановлюють безпосередньо у джерел виділення газу та пилу. Чим ближче вони до джерела, тим повніше уловлювання і менше присоси навколишнього повітря.

Для зручності обслуговування їх зазвичай розташовують не нижче 2,0 м над робочою площадкою. Вхідний перетин парасольки або ковпака слід влаштовувати подібним поверхні джерела шкідливих виділень з кутом

розкриття не більше 60° , швидкість всмоктуваного газу повинна становити не менше 1...1,5 м/с. Газ, що відсмоктується розбавлений повітрям, пропускають через пиловловлювач і вентилятором викидають через димову трубу в атмосферу. Такі місцеві відсмоктувачі широко поширені на підприємствах.

Захисні кожухи є найбільш досконалим типом укриття, так як в значній мірі виключають присоси навколишнього повітря в аспіраційну систему і дозволяють найбільш повно видаляти газо-пилевиділення.

В даний час захисні кожухи отримують все більшого поширення. Такого роду укриттями служать: камера вагоноперекидача, бункера і деякі вузли перевантажень на агломераційної фабриці; бункера сухого гасіння коксу на коксохімічному заводі; межконусное простір доменної печі; камера придоменной грануляції шлаку у виробництві чавуну; захисні кожухи електросталеплавильних печей в сталеплавильному виробництві; закриті ванни безперервного травлення в прокатному виробництві та ін.

Для очищення газів від хімічних газоподібних домішок можуть бути використані наступні три методи:

1. Абсорбція, тобто поглинання газів при промиванні рідинами. Часто виділяється газоподібний компонент вступає в хімічну взаємодію з поглинаючою рідиною з утворенням розчинної в ній сполуки. Такий процес називається хемосорбцією.

2. Адсорбція – поглинання газів твердими речовинами, наприклад, іонообмінними матеріалами.

3. Переведення газоподібних домішок за допомогою спеціальних добавок в твердий або рідкий стан з подальшим виділенням їх з газу.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розглянуто світове виробництво губчастого титану, приведено сумарні світові потужності з випуску титанової губки, які оцінюються в 236 тисяч тонн за 2019 р., та розглянуті основні властивості титану та його сплавів, які сильно залежать від чистоти металу та області застосування титану. Сплави титану відрізняються термостійкістю і особливо високою питомою міцністю до 600 °С. Ці характеристики обумовили можливість застосування титану як конструкційної матеріалу в реактивній авіації, у ракетній техніці, медицині та у багатьох інших галузях. В ході плавки протікають складні фізико-хімічні процеси відновлення оксидів, розплавлення і поділ утворюються продуктів реакції – титанового шлаку і попутної продукції карботермічного збагачення.

Описані основні питання виробництва титану різними методами, такими як: магієтермічний, натрієтермічний та іодідний метод. Розглянуто способи одержання титанових шлаків серед яких: двостадійний спосіб виплавки титанових шлаків; виплавка титанових шлаків у циклонній печі; та руднотермічна плавка титанових концентратів, яка відповідає усім вимогам, необхідним для отримання чистого металу. Описано фізико-хімічні основи процесу виробництва титанового шлаку та теоретичні основи процесу плавки.

Описується технологічний процес виробництва титанового шлаку, а саме підготовка до плавки основних шихтових матеріалів та печі, розглядаються короткі характеристики руднотермічної печі та завантаження шихти у піч. Звертається увага на плавку, її супутні процеси, та процеси, що проходять після плавки.

Наведено конструкцію руднотермічної печі для виплавки титанових шлаків, яка складається з наступних основних вузлів: кожух; футерування ванни печі; зведення; кільце затискне верхнє; кільце затискне нижнє; контактні щоки; установка апарату для пропалення льотки; система гідроприводу; установка направляючих роликів; система водоохолодження; система водоохолодження зведення; монтаж механічної установки кінцевих вимикачів.

Представлена підготовка титанових концентратів. Виробництво титанових шлаків показує, що кращі результати досягаються при роботі руднотермічної печі на брикетованій або окускованій шихті. Описується технологія брикетування, аналізується сировина для брикетування, яку можна розділити на основну та допоміжну.

Проаналізовано вплив тиску на виготовлення брикету, зусилля пресування необхідне для отримання нормативної міцності брикетів, в більшості випадків зростає з дисперсністю матеріалу.

Для досягнення основної мети - отримання титанових шлаків з вмістом не менш 90 % TiO_2 в якості ільменітового концентрату використовують Вільногірські концентрати з низьким вмістом домішок TiO_2 – 63,0 %; FeO – 22,25 %; Fe_2O_3 – 7,5 %; SiO_2 – 2,0 %; Al_2O_3 – 3,0 %; MgO – 0,85 %; MnO – 0,95 %; CaO – 0,44 %.

Завдяки тому що ільменітовий концентрат добре піддається брикетуванню із помеленим вуглецевим відновником краще за все для виробництва титанового шлаку використовувати шихту у формі брикетів. При плавлі брикетів не відбувається значного перевідновлення оксидів титану. Збільшується стійкість футеровки печі до 20 %. Все це сприяє більш високій продуктивності печі і зменшує витрату електричної енергії 1800 квт.год. на 1 тону шлаку замість існуючих 2200 квт.год. на 1 тону шлаку.

Кращим зв'язуючим для цієї мети є сульфітний луг (концентрат сульфітно-спиртової барди) – побічний продукт целюлозної промисловості, він є не шкідливим для процесу, не несе домішок, та ін. Для отримання міцних брикетів потрібна лише невелика кількість цього сполучника (до 4 %). До складу брикетів входять: ільменітовий концентрат 85 %, вуглецевий відновлювач 10 %, сульфітний луг 4 %, інші домішки 1 %.

Аналіз результатів показав, що заміна всього 50 % неокускованої шихти на брикети дозволяє отримати чисті титанові шлаки з великим вмістом оксидів титану і попутно з цим перероблений чавун за один металургійний переділ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Металлургия титана : учеб.пособие [Текст] / В. А. Лебедев, Д. А. Рогожников – Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2015. – 194 с.
2. Виробництво титану в Україні [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://Wikipedia.com>
3. Технологія отримання титанового шлаку [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://refleader.ru/polatyqasatypol.html>
4. Титан : свойства, сырьевая база, физико-химические основы и способы получения [Текст] : научное издание / В. А. Гармата [и др.] ; под ред. В. А. Гарматы. - М. : Metallurgiya, 1983. - 558 с. : ил. ; 20 см. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 531-554. - Предм. указ.: с. 554-556.
5. Руднотермические плавильные печи [Текст] / Б. М. Струнский. - М. : Metallurgiya, 1972. - 367 с. : ил. - Библиогр.: с.364-365.
6. Metallurgiya titana [Текст] : [Учеб. для техникумов по спец. 1104 "Пр-во цв. металлов и их сплавов"] / В.М. Мальшин, В.Н. Завадская, Н.А. Пампушко ; Под ред. В. М. Мальшина. - М. : Metallurgiya, 1991. - 207,[1] с. : ил ; 20 см. - Библиогр.: с. 207-208 (31 назв.). - 1450 экз. - ISBN 5-229-00745-1
7. Metallurgiya titana [Текст] : учеб. для техникумов / В. В. Сергеев, А. Б. Безукладников, В. М. Мальшин; Ред. В. В. Сергеев. - М. : Metallurgiya, 1979. - 264 с. : ил. - Библиогр. в конце глав.
8. Магниетермическое производство губчатого титана [Текст] / Бейбеков М. К., Попов В. Д., Чепрасов И. М. М.: Metallurgiya, 1984. 96 с.
9. Новые металлургические процессы и оборудование для производства титановых сплавов [Текст] / А. Е. Волков ; РАН. Урал. отд-ние. Ин-т физики металлов. - Екатеринбург : УрО РАН, 2006. - 193 с.
10. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства [Текст] : справочник / А. А. Ильин, Б. А. Колачев, И. С. Полькин. - М. : ВИЛС-МАТИ, 2009. - 519 с.
11. Способ получения титановых шлаков в рудно-термической печи [Патент] / Мясников А. А., Селин С. Н., Сафин Р. Т., Бирюков Г. К.

12. Производство шлаков титана в рудно-термической печи [Патент] / Мясников А. А., Сафин Р. Т., 2008.
13. Восстановление титана натрием и магнием [Патент] / А. Е. Волков. 2006.
14. Титансодержащая шихта для получения тетрахлорида титана и способ ее приготовления [Патент] / Рымкевич Д. А., Тетерин В. В.
15. Физическое металловедение титана [Текст] / Б. А. Колачев. - М. : Metallurgia, 1976.
16. Титановые шлаки [Текст] / Н. А. Васютинский. - М. : Metallurgia, 1972. - 208 с.
17. Механические свойства титана и его сплавов [Текст] / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, А. А. Буханова. - М. : Metallurgia, 1974. - 543 с.
18. Гидрометаллургия титана [Текст] / Ю. Г. Олесов и др. - М. : Metallurgia, 1983. - 119 с
19. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов: учебник для вузов: В 3-х т. Т. 2. Машины и агрегаты доменных цехов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1987. – 430 с.
20. Разработка технологий брикетирования сульфидного медно-никелевого концентрата и силикатного флюса [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://spmi.ru/>
21. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельчённого металлургического сырья: Монография. – Мариуполь, ПГТУ, 2010. – 442 с.
22. Равич Б.М. Брикетирование в цветной и чёрной металлургии / Б.М. Равич. – М.: Metallurgia, 1975. – 232 с.
23. Лурье Л.А. Окускование в чёрной и цветной металлургии / Л.А. Лурье. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 324 с.
24. Ремесников И.Д. Анализ процесса обжата в удлинённом криволинейном матричном канале / И.Д. Ремесников // Новое в брикетировании и коксовании углей. – Под ред. Е.М. Тайц. – М.: Наука, 1965. – С. 121-128.